

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Desempenho energético de edifícios desportivos com piscinas aquecidas

Ricardo João de Castelar Gonçalves

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão de

Eng.º Marco Correia (Energia Própria S.A.)

Prof.ª Doutora Marta Panão (FCUL)

2015

Agradecimentos

Começo por agradecer a toda a equipa da Energia Própria - *Self Energy*, onde realizei o estágio que me permitiu estar envolvido no projeto que se veio a tornar parte integrante da minha dissertação, que me acolheu muito bem e sempre me fizeram sentir à vontade. Em particular, à Engenheira Raquel Rosado, por toda a paciência, disposição e clareza com que me ajudou, e ao Engenheiro Marco Correia por toda a sua orientação, disponibilidade e amizade.

Agradeço, igualmente, à Professora Doutora Marta Panão pela sua dedicação e conselhos fundamentais.

A toda a minha família e amigos que de alguma forma mostraram o seu apoio, em especial aos meus pais e ao meu irmão que me acompanharam de perto ao longo deste percurso académico.

E, por fim, agradeço também à minha namorada, por toda a sua compreensão, incentivo e carinho incondicionais.

Abstract

Given that sports buildings, with particular emphasis to those that have heated swimming pools, are facilities with high energy consumption, it is crucial that they adopt energy efficiency measures to further ensure its viability. There are initiatives at European level, in view of the 2020 goals, that meet this need, as in the case of the STEP-2-SPORT project aimed to the step-by-step energetic renovation of such buildings.

This dissertation approaches two of the three Portuguese pilot cases of this project, Piscina Municipal de Alcochete and Piscina Municipal de Alhos Vedros, having been made an energetic analysis of the thermal behaviour of both facilities, through an exhaustive gathering of information from the structure of the buildings up to the usage profiles of the various equipment, that revealed a energy class B, according to the RECS (Decree-Law nr.118/2013).

In order to reduce energy consumption of both facilities, several energy conservation measures were suggested which, once implemented, would reduce the R_{IEE} in both cases, and making the Piscina Municipal de Alhos Vedros to achieve energy class A. With these results, and combined to other case studies of the remaining six countries involved in this project, a set of recommendations that allow establishing a common European framework for the energy certification of sports buildings will be defined.

Key words: Energy Efficiency; Sports buildings; Swimming pools; STEP-2-SPORT

Resumo

Tendo em conta que os edifícios desportivos, com particular destaque para os que contêm piscinas aquecidas, são instalações com elevados consumos energéticos, torna-se crucial que estes adotem medidas de eficiência energética para continuar a garantir a sua viabilidade. E, para tal, existem iniciativas a nível europeu, tendo em vista os objetivos do horizonte 2020, que vão de encontro a esta necessidade, como é o caso do projeto STEP-2-SPORT que visa a renovação energética deste tipo de edifícios.

A presente dissertação aborda dois dos três casos piloto portugueses deste projeto, Piscina Municipal de Alcochete e Piscina Municipal de Alhos Vedros, tendo sido feita uma análise energética ao comportamento térmico de ambas as instalações, através de um levantamento de informação exaustivo desde a envolvente dos edifícios até aos perfis de utilização dos mais diversos equipamentos, que apresentaram uma classe energética B, segundo o RECS (Decreto-Lei n.º 118/2013).

De forma a reduzir o consumo energético das duas instalações, sugeriram-se diversas medidas de racionalização de energia que, uma vez implementadas, iriam reduzir o R_{IEE} em ambos os casos, chegando mesmo a Piscina Municipal de Alhos Vedros a atingir uma classe energética A.

Com estes resultados, e juntando aos outros casos de estudo dos restantes 6 países envolvidos neste projeto, irá ser definido um conjunto de recomendações que permitam estabelecer um esquema comum europeu para a certificação energética de edifícios desportivos.

Palavras-chave: Eficiência energética; Edifícios desportivos; Piscinas; STEP-2-SPORT

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Estrutura	3
2.	Caraterização dos casos de estudo	5
2.1	Piscina Municipal de Alcochete.....	5
2.1.1	Descrição geral.....	5
2.1.2	Ocupação	6
2.1.3	Envolvente.....	7
2.1.4	Sistemas AVAC	10
2.1.5	Sistemas de produção de AQS	11
2.1.6	Iluminação	13
2.1.7	Equipamentos	14
2.1.8	Análise dos Consumos Energéticos	15
2.2	Piscina Municipal de Alhos Vedros.....	19
2.2.1	Descrição geral.....	19
2.2.2	Ocupação	20
2.2.3	Envolvente.....	21
2.2.4	Sistemas AVAC	24
2.2.5	Sistemas de produção de AQS	25
2.2.6	Iluminação	26
2.2.7	Equipamentos	27
2.2.8	Análise dos Consumos Energéticos	28
2.2.9	Diagramas de carga	30
3.	Simulação Energética do Edifício.....	33
3.1	Caracterização dos modelos de simulação	33

3.2	Determinação da carga latente	33
3.2.1	Determinação das necessidades de AQS.....	34
3.3	Validação dos modelos de simulação	38
3.3.1	Piscina Municipal de Alcochete.....	39
3.3.2	Piscina Municipal de Alhos Vedros.....	44
3.4	Desagregação dos consumos de energia	46
3.4.1	Piscina Municipal de Alcochete.....	46
3.4.2	Piscina Municipal de Alhos Vedros.....	50
4.	Indicadores de Eficiência Energética	55
4.1	Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética Previsto e de Referência	57
4.1.1	Determinação do IEEpr	57
4.1.2	Determinação do IEEref	63
5.	Cálculo da Classe Energética do Edifício	69
6.	Medidas de Utilização Racional de Energia	71
6.1	Substituição de lâmpadas	71
6.2	Implementação de cobertura térmica	72
6.3	Substituição de bombas de calor desumidificadoras.....	74
6.4	Implementação de um sistema solar térmico - Piscina Municipal de Alhos Vedros	74
6.5	Implementação e análise de resultados	76
6.5.1	Piscina Municipal de Alcochete.....	76
6.5.2	Piscina Municipal de Alhos Vedros.....	78
7.	Conclusão.....	81
8.	Referências	83
9.	Anexos.....	85

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Caracterização da ocupação	6
Tabela 2 – Constituição da envolvente – Paredes	7
Tabela 3 – Constituição da envolvente – Coberturas.....	8
Tabela 4 – Constituição da envolvente – Pavimento	9
Tabela 5 – Constituição da envolvente – Vãos envidraçados	9
Tabela 6 – Resumo dos subsistemas de produção de energia térmica	10
Tabela 7 – Resumo dos subsistemas de distribuição de energia térmica.....	11
Tabela 8 – Características do sistema solar térmico	12
Tabela 9 – Resumo dos dispositivos de iluminação e respetiva densidade	13
Tabela 10 – Resumo dos equipamentos e respetiva densidade.....	14
Tabela 11 – Caracterização da ocupação	20
Tabela 12 – Constituição da envolvente – Paredes.....	21
Tabela 13 – Constituição da envolvente – Coberturas.....	22
Tabela 14 – Constituição da envolvente – Pavimento	22
Tabela 15 – Constituição da envolvente – Vãos envidraçados	23
Tabela 16 – Resumo dos subsistemas de produção de energia térmica.....	24
Tabela 17 – Resumo dos subsistemas de distribuição de energia térmica.....	25
Tabela 18 – Resumo dos dispositivos de iluminação e respetiva densidade	26
Tabela 19 – Resumo dos equipamentos e respetiva densidade.....	27
Tabela 20 – Resultados das três variáveis descritas acima, em cada caso de estudo	34
Tabela 21 - Dimensões referentes aos tanques dos dois casos de estudo	36
Tabela 22 - Consumos mensais de gás natural.....	40
Tabela 23 - Comparação dos consumos mensais de eletricidade e gás natural	41
Tabela 24 – Desvio cometido na simulação do edifício	43
Tabela 25 – Comparação dos consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação	44
Tabela 26 – Desvio cometido na simulação do edifício	45

Tabela 27 – Desagregação de consumos energéticos por utilização.....	46
Tabela 28 – Desagregação de consumos energéticos dos sistemas AVAC	48
Tabela 29 – Desagregação de consumos energéticos por setor	49
Tabela 30 – Desagregação de consumos energéticos por utilização.....	50
Tabela 31 – Desagregação de consumos energéticos dos sistemas AVAC	51
Tabela 32 – Desagregação de consumos energéticos por setor	52
Tabela 33 – Consumos de Energia a considerar no IEE_S e no IEE_T	56
Tabela 34 – Desagregação de consumos energéticos previstos por utilização	58
Tabela 35 – Fatores de Conversão	59
Tabela 36 – Determinação do $IEE_{pr,S}$	59
Tabela 37 – Determinação do $IEE_{pr,T}$	60
Tabela 38 – Determinação do $IEE_{pr,ren}$	60
Tabela 39 – Determinação do IEE_{pr}	60
Tabela 40 – Desagregação de consumos energéticos previstos por utilização	61
Tabela 41 – Determinação do $IEE_{pr,S}$	61
Tabela 42 – Determinação do $IEE_{pr,T}$	62
Tabela 43 – Determinação do IEE_{pr}	62
Tabela 44 – Caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devido a materiais do edifício. 65	
Tabela 45 – Desagregação de consumos energéticos de referência por utilização.....	65
Tabela 46 – Determinação do $IEE_{ref,S}$	66
Tabela 47 – Determinação do $IEE_{ref,T}$	66
Tabela 48 – Determinação do IEE_{ref}	66
Tabela 49 – Desagregação de consumos energéticos de referência por utilização.....	67
Tabela 50 – Determinação do $IEE_{ref,S}$	67
Tabela 51 – Determinação do $IEE_{ref,T}$	68
Tabela 52 – Determinação do IEE_{ref}	68
Tabela 53 – Definição da classe energética em função do R_{IEE}	69
Tabela 54 – Comparação das características das lâmpadas T8 e iodetos metálicos com lâmpadas LED	72

Tabela 55 - Parâmetros necessários a considerar para nova simulação	74
Tabela 56 - Características dos coletores sugeridos	75
Tabela 57 – Resumo da implementação de medidas para a eficiência energética.....	76
Tabela 58 – IEE_{pr} , após as medidas URE.....	77
Tabela 59 – Resumo da implementação de medidas para a eficiência energética.....	78
Tabela 60 – IEE_{pr} , após as medidas URE.....	79

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da meta para a eficiência energética em Portugal para 2020.....	1
Figura 2 – Imagem satélite da localização do caso de estudo – Piscina Municipal de Alcochete.....	5
Figura 3 – Cobertura do Tipo I	8
Figura 4 – Grelhas e condutas de extração de ar na zona da nave	11
Figura 5 – Coletores solares térmicos existentes no edifício	12
Figura 6 – Exemplo de lâmpadas FL T8 e CFL nas instalações	13
Figura 7 – Consumo mensal de energia ativa	15
Figura 8 – Repartição do consumo de energia elétrica por períodos	16
Figura 9 – Consumo mensal de energia reativa	16
Figura 10 – Consumo mensal de gás natural.....	17
Figura 11 – Diagrama de carga do quadro geral da piscina.....	18
Figura 12: Imagem satélite da localização do caso de estudo – Piscina Municipal de Alhos Vedros..	19
Figura 13: Tipo de parede exterior das instalações.....	21
Figura 14: Cobertura do tipo II vista do interior	22
Figura 15: Vãos envidraçados existentes na zona da nave	23
Figura 16: Caldeiras, à esquerda, e uma das bombas de calor desumidificadoras, à direita	25
Figura 17 – Consumo mensal de energia ativa	28
Figura 18 – Repartição do consumo de energia elétrica por períodos	29
Figura 19 – Consumo mensal de energia reativa	29
Figura 20 - Consumo mensal de gás natural	30
Figura 21 – Diagrama de carga do quadro geral da piscina.....	31
Figura 22 - Editor de consumos de AQS para a zona dos balneários	35
Figura 23 - Análise energética do sistema térmico com carga referente aos balneários.....	35
Figura 24 - Caraterísticas e operação de piscina coberta	37
Figura 25 - Análise energética do sistema térmico com carga referente à piscina	37
Figura 26 - Caraterização do sistema térmico.....	39

Figura 27 - Análise energética do sistema solar térmico	40
Figura 28 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – eletricidade.....	41
Figura 29 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – gás natural	42
Figura 30 - Energia fornecida mensalmente pelo sistema solar térmico.....	42
Figura 31 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – eletricidade.....	44
Figura 32 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – gás natural	45
Figura 33 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização - Eletricidade.....	47
Figura 34 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Gás Natural	47
Figura 35 – Desagregação dos consumos energéticos referentes ao AVAC – Eletricidade	48
Figura 36 – Desagregação dos consumos energéticos por setor – Eletricidade.....	49
Figura 37 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Eletricidade.....	50
Figura 38 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Gás Natural	51
Figura 39 – Desagregação dos consumos energéticos referentes ao AVAC – Eletricidade	52
Figura 40 – Desagregação dos consumos energéticos por setor – Eletricidade.....	52
Figura 41 – Comparação dos IEEpr e IEEref por tipo de uso.....	68
Figura 42 – Exemplo de lâmpada <i>LED</i> de formato tubular	72
Figura 43 – Exemplo do procedimento efetuado para a implementação da cobertura térmica	73
Figura 44 – Cobertura térmica numa piscina	73
Figura 45 - Caraterização do sistema térmico.....	75
Figura 46 - Análise energética do sistema solar térmico	76

Abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BTE	Baixa Tensão Especial
CO ₂	Dióxido de Carbono
CFL	Lâmpada Compacta Fluorescente
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DL	Decreto-Lei
E	Este
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
FL T5	Lâmpada Fluorescente Tubular, de 16mm de diâmetro
FL T8	Lâmpada Fluorescente Tubular, de 26mm de diâmetro
H	Horizontal
HAL	Lâmpada de Halogéneo
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IEEpr	Indicador de Eficiência Energética previsto
IEEref	Indicador de Eficiência Energética de referência
INC	Lâmpada Incandescente
IM	Lâmpada Iodeto Metálico
IS	Instalações Sanitárias
LED	Díodo Emissor de Luz
N	Norte
NE	Nordeste
NW	Noroeste
NZEB	Edifício de Balanço Energético Quase Nulo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PRS	Período de Retorno Simples

Qtd	Quantidade
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
R _{IEE}	Rácio de Eficiência Energética
S	Sul
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
Tep	Toneladas equivalentes de petróleo
URE	Utilização Racional de Energia
VE	Ventilador de Extração
VI	Ventilador de Insuflação
ZC	Zona Complementar

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Existe uma dependência energética em, praticamente, todas as atividades desenvolvidas por parte da sociedade, bem como para o seu conforto e bem-estar, como tal, devido ao aumento de população, e também por culpa do desenvolvimento tecnológico, verifica-se que a procura de energia está em constante crescimento. Juntando o fato de que, ainda, são os combustíveis fósseis a suprir grande parte dessas necessidades energéticas, aliado às preocupações ambientais inerentes, torna-se essencial que a utilização de energia seja feita de forma mais eficiente possível.

Para isso é necessário a criação de planos e estratégias, tais como a elaboração de planos de ação de eficiência energética (PNAEE) e os objetivos do horizonte 2020 (reduções de 20% na emissão de CO₂ e no consumo energético, bem como a produção de 20% da energia total consumida, com origem em energias renováveis), medidas impostas por parte da Comissão Europeia aos Estados-Membros.

No caso de Portugal, a implementação do PNAEE prevê uma economia energética total de cerca de 1,5 Mtep, em energia final, no ano de 2016, o que corresponde a uma economia de 8,2% face ao período de referência (média do consumo entre 2001-2005) [1]. Quanto aos objetivos a cumprir até 2020, Portugal adotou, posteriormente, uma meta mais ambiciosa, passando duma redução de 20 para 25% relativamente ao consumo de energia primária, através do aumento de eficiência energética [1].

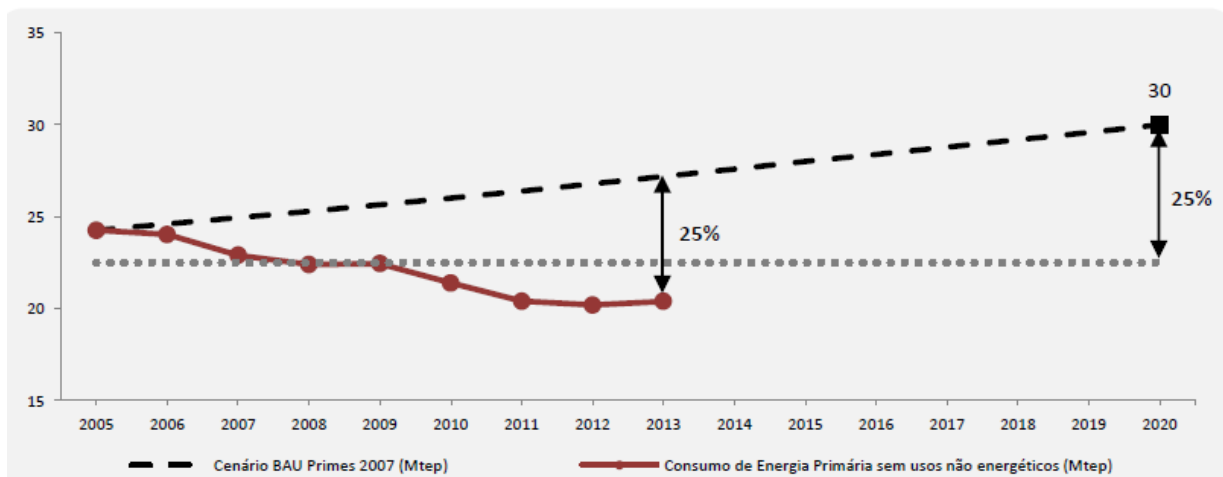


Figura 1 – Evolução da meta para a eficiência energética em Portugal para 2020 [1]

A implementação destas medidas, juntamente com o crescente aproveitamento renovável nos últimos anos, tem permitido a Portugal baixar a sua elevada dependência energética, que se situou sempre em valores entre 80 e 90%, tendo mesmo atingido os 71% no ano de 2014 [2].

Contudo ainda se tratam de valores demasiado elevados e uma das áreas onde existe maior consumo passa pelos edifícios, cujo setor é responsável pelo consumo de, aproximadamente, 40% de energia

final na Europa [3]. No entanto, este valor pode ser reduzido a metade através de medidas de eficiência energética, por isso a União Europeia tem financiado vários projetos para se atingir essa redução, como é o caso do STEP-2-SPORT, que se centra em edifícios desportivos, no qual estive envolvido aquando o meu período de estágio na empresa Energia Própria - *Self Energy*.

Na Europa existem mais de um milhão e meio de instalações desportivas, sendo que a maioria foi construída antes de 1980 sem ter em consideração critérios de eficiência energética. Por isso, é necessário promover a renovação energética destes edifícios, com foco na eficiência energética e na utilização de energias renováveis em recintos desportivos e piscinas cobertas existentes, uma vez que estes apresentam consumos de energia significativos.

O projeto STEP-2-SPORT tem como objetivo promover a melhoria do desempenho energético através da renovação gradual (passo-a-passo) deste tipo de instalações com a finalidade de obter edifícios de balanço energético quase nulo, contribuindo assim para os objetivos energéticos europeus [4]. Instalações desportivas de sete países europeus eram objeto de estudo no projeto como casos piloto. No caso de Portugal as três instalações alvo de estudo são a Piscina Municipal de Alcochete, Piscina Municipal de Alhos Vedros e a Piscina Municipal do Barreiro, sendo que apenas as duas primeiras serão abordadas nesta dissertação.

Através da renovação gradual, esta iniciativa prevê uma redução no consumo de energia em três fases: entre os 35 e os 50% durante o período do projeto; 50% em 2020; e 70% em 2025, 10 anos após o começo da implementação das medidas de melhoria e quando termina o plano de ação [4].

1.2 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é efetuar uma análise aprofundada ao desempenho energético de dois edifícios desportivos com piscina aquecida - Piscina Municipal de Alcochete e Piscina Municipal de Alhos Vedros – de acordo com a legislação portuguesa atual, nomeadamente o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços. Esta análise será feita através do *software Hourly Analysis Program 4.8*, da empresa *Carrier*, acreditado pela norma ASHRAE, que utiliza um modelo de simulação dinâmica para determinar as necessidades energéticas dos edifícios em estudo.

Previamente, será feita uma auditoria energética às duas instalações para o reconhecimento pessoal dos edifícios e levantamento de dados desde a constituição da envolvente, equipamentos consumidores de energia e respetivos perfis de utilização, sistemas de climatização e, ainda, as faturas de eletricidade e gás dos últimos anos para posterior validação do modelo de simulação.

Finalmente, pretende-se fazer um estudo de medidas de melhoria passíveis de implementar nos dois casos de estudo, em vista a reduções de consumo energético e uma melhor classe energética.

1.3 Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos estruturados de acordo com a ordem cronológica do trabalho desenvolvido, de maneira a permitir uma melhor compreensão dos conteúdos abordados, sendo eles os seguintes:

- Capítulo 1 – engloba o enquadramento, objetivo e a própria estrutura desta dissertação;
- Capítulo 2 – definição de toda a caracterização dos dois casos de estudo, desde uma breve descrição geral, ocupação, envolvente, sistemas AVAC e AQS, iluminação e equipamento, análise dos consumos energéticos faturados e, ainda, análise ao diagrama de carga;
- Capítulo 3 – determinação da carga latente e das necessidades de AQS a considerar, aborda o modelo de simulação dinâmica utilizado para determinar o comportamento térmico de ambas as instalações e respetiva validação e apresenta ainda a desagregação dos consumos em variados setores;
- Capítulo 4 – descrição da metodologia levada em conta para o cálculo do IEE_{pr} e do IEE_{ref} ;
- Capítulo 5 – determinação da classe energética para cada caso de estudo, através do cálculo do mesmo;
- Capítulo 6 – apresentação de diversas medidas de melhoria, e respetivos cálculos, sugeridas para cada caso de estudo, que visam aumentar a eficiência energética dos mesmos e a sua classe energética;
- Capítulo 7 – análise das principais conclusões resultantes desta dissertação.

2. Caraterização dos casos de estudo

2.1 Piscina Municipal de Alcochete

2.1.1 Descrição geral

O primeiro objeto de estudo é o edifício denominado por Piscina Municipal de Alcochete, destinado a atividade desportiva com piscina, composto por dois pisos acima do nível do solo. Está localizado no interior da zona urbana de Alcochete, a uma altitude de 13 m em relação ao nível médio das águas do mar. Este edifício, cuja construção remonta ao ano de 1999, situa-se na zona climática de Inverno II e na zona climática de Verão V3, e tem como temperatura média do mês mais frio de 10,7 °C e temperatura média do período entre Junho e Setembro de 22,8 °C.

O conjunto de frações apresenta a seguinte distribuição de espaços e zonas, consoante o tipo de utilização e atividade que se desenvolve em cada um:

- Piso 0: nave, balneários, zonas de circulação, instalações sanitárias, zonas técnicas, escritórios e refeitório;
- Piso 1: escritórios, zonas de circulação e galeria.

O edifício possui um sistema de climatização descentralizado, constituído por uma caldeira a gás natural, uma bomba de calor desumidificadora e ventiladores de insuflação e extração.

Existe também um sistema de produção de AQS constituído por um sistema solar térmico e pela caldeira a gás natural. A iluminação interior é composta maioritariamente por lâmpadas fluorescentes tubulares e fluorescentes tubulares compactas, sendo que não existe iluminação exterior.

A compensação do fator de potência é efetuada no edifício desde Agosto de 2013, a partir de uma bateria de condensadores.



Figura 2 – Imagem satélite da localização do caso de estudo – Piscina Municipal de Alcochete

2.1.2 Ocupação

No momento da realização da auditoria, não existiam utentes, no entanto foi indicado que a média diária é de 313, de acordo com os participantes nas várias atividades que ocorrem nas instalações. O horário de funcionamento da piscina é das 8h até às 22h, de segunda-feira a sexta-feira, e das 8h até às 21h aos sábados. Na seguinte tabela é feito um resumo de cada zona térmica considerada, indicando-se a área útil de pavimento e número médio de ocupantes.

Tabela 1 – Caracterização da ocupação

Piso	Zona	Área (m ²)	Nº médio de ocupantes
0	Z0.01 – Nave e Galeria	515,1	40
0	Z0.02 – Balneários	167,7	40
0	Z0.03 – IS.	14,8	0
0	Z0.04 – Zona de circulação	24,0	0
0	Z0.05 – Receção e corredor	57,8	0
0	Z0.06 – Zona de circulação	8,9	0
0	Z0.07 – Refeitório	10,2	5
0	Z0.10 – Gabinete	6,6	2
0	Z0.11 – Zona de circulação	21,1	0
0	Z0.12 – Gabinete	14,4	3
0	ZC – Zonas técnicas	86,0	0
1	Z1.1 – Escadas	12,2	0
1	Z1.2 – Zona de circulação	19,9	0
1	Z1.3 – Gabinete	14,9	1
Área Total (m²)		973,6	

Através da análise da tabela anterior, considera-se uma área total de pavimento de 973,6 m² com um pé-direito médio ponderado de 4,29 m. Relativamente ao número de ocupantes, este refere-se ao número usual de ocupantes em cada zona, sendo que não significa que estejam todas elas com ocupação em simultâneo.

Nos anexos 9.1 e 9.2 encontram-se as plantas de arquitetura com a indicação de cada uma das zonas térmicas consideradas.

2.1.3 Envolvente

Durante a auditoria, foi confirmado o levantamento geométrico disponível na forma de peças desenhadas do imóvel, através da medição direta das principais dimensões do interior do edifício.

Foram igualmente identificados os espaços não úteis, para os quais se considerou, por defeito, um b_{tr} de 0,8.

Não existem elementos que permitam caracterizar as pontes térmicas planas na envolvente vertical, pelo que se optou pela majoração em 35% dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca no cálculo do IEE_{pr} .

Face à limitação do *software* utilizado em parametrizar as pontes térmicas lineares no modelo de simulação foi considerado ainda um acréscimo de 5% nos consumos de energia para aquecimento ambiente, também no cálculo do IEE_{pr} .

De realçar que, para a determinação do valor de U das seguintes diferentes soluções construtivas, considerou-se, numa primeira fase, toda a informação disponível sobre as características técnicas dos elementos que as constituem. Apenas na ausência de informação específica, recorreu-se aos valores tabelados de fontes de informação de referência, tendo sido, nesses casos, utilizado as melhores opções aplicáveis e em coerência com a informação recolhida no edifício em estudo.

A classe de inércia para o imóvel foi considerada como média, tendo em conta as regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior, presentes na Tabela 03 do Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 [9].

Nos anexos 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7 e 9.8 encontram-se as plantas de arquitetura com a indicação da delimitação da envolvente considerada.

2.1.3.1 Paredes

Relativamente à envolvente opaca vertical, foram identificados três tipos de parede exterior e um tipo de parede interior. Na seguinte tabela apresenta-se um resumo das respetivas soluções construtivas existentes, incluindo o coeficiente de transmissão térmica (U):

Tabela 2 – Constituição da envolvente – Paredes

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Orientação	Caraterização	U (W/m².K)
Tipo I	Exterior	Todos os Pisos	NE, NW, SE e SW	Parede exterior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque e revestimento exterior em reboco, com uma espessura total da parede de 0,30 m.	1,10

Tipo II	Exterior	Piso 0	NE e SE	Parede exterior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque e revestimento exterior em reboco, com uma espessura total da parede de 0,25 m.	1,30
Tipo III	Exterior	Piso 0	SW	Parede exterior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque e revestimento exterior em reboco, com uma espessura total da parede de 0,33 m.	1,02
Tipo IV	Interior	Piso 0	SW	Parede interior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque, com uma espessura total da parede de 0,30 m.	1,00

2.1.3.2 Coberturas

Quanto à envolvente opaca horizontal, identificaram-se dois tipos de cobertura exterior. Na tabela seguinte apresenta-se um resumo das respetivas soluções construtivas existentes:

Tabela 3 – Constituição da envolvente – Coberturas

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Orientação	Caraterização	U (W/m ² .K)
Tipo I	Exterior	Balneários, Circulação, IS, Zonas Técnicas, Escritórios e Refeitório	Horizontal	Cobertura exterior tipo pesada horizontal, com revestimento interior em estuque, laje de betão, betonilha de assentamento e revestimento exterior.	2,60
Tipo II	Exterior	Nave e Galeria	Inclinada	Cobertura exterior tipo leve inclinada, com revestimento interior e revestimento exterior em chapa metálica.	3,80



Figura 3 – Cobertura do Tipo I

2.1.3.3 Pavimentos

Ainda na envolvente opaca horizontal, apenas se identificou um tipo de pavimento em contacto com o solo. Na tabela seguinte apresenta-se um resumo dessa mesma solução construtiva considerada:

Tabela 4 – Constituição da envolvente – Pavimento

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Caraterização	U (W/m².K)
Tipo I	Em contacto com solo	Piso 0	Pavimento em contacto com solo do tipo pesado em laje de esteira horizontal, constituída por revestimento interior, betonilha de assentamento e laje de betão	1,00

2.1.3.4 Vãos envidraçados

Por fim, identificaram-se sete tipologias de vãos envidraçados. Na tabela seguinte apresenta-se um resumo das soluções construtivas encontradas:

Tabela 5 – Constituição da envolvente – Vãos envidraçados

Tipo	Local	Orientação	Cor vidro	Caraterização	U (W/m².K)
VE1	Antecâmara, Circulação, Gabinete de Manutenção	SW, SE, NW e NE	Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, com 6 mm de espessura, com abertura giratória, sem proteção solar.	6,2
VE2	Antecâmara, Receção, Circulação, Escadas	SW, SE, NW e NE	Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, com 6 mm de espessura, com abertura fixa, sem proteção solar.	6,0
VE3	Gabinete	SE	Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, com 6 mm de espessura, com estores de lâminas de cor clara.	6,0
VE4	Gabinete	SE	Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, com 6 mm de espessura, com estores de lâminas de cor clara.	6,2
VE5	Gabinete	NW	Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, com 6 mm de espessura, com abertura de correr, sem proteção solar.	6,5
VE6	Nave	SE, SW e NE	Refletante Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, refletante incolor, com abertura fixa, sem proteção solar.	3,82
VE7	Nave	SE	Refletante Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, refletante incolor, com abertura giratória, sem proteção solar.	4,20

2.1.4 Sistemas AVAC

O edifício possui um sistema de climatização descentralizado, existindo para o efeito uma caldeira a gás natural, uma bomba de calor desumidificadora e ventiladores de insuflação e extração, que efetuam a climatização e renovação do ar na zona da nave e dos balneários.

De notar que, para caracterização dos equipamentos ou sistemas instalados (em particular dos respetivos valores de eficiência), foram prioritariamente considerados os elementos recolhidos no levantamento e todas as especificações ou catálogos técnicos disponíveis. Nos casos em que tal informação não estava disponível nos elementos fornecidos pelo proprietário, foi consultado o respetivo fornecedor ou fabricante do equipamento, com vista à obtenção dos dados necessários. Apenas na ausência dessa informação é que se recorreu aos valores tabelados de fontes de informação de referência, tendo, nesses casos, sido utilizado as melhores opções aplicáveis e em coerência com a informação recolhida no local aquando da auditoria ao edifício.

O consumo de eletricidade do sistema de AVAC é estimado em cerca de 45,8 MWh/ano (39,4 % do total consumido).

2.1.4.1 Subsistema de produção de energia térmica

A produção de energia térmica é garantida através de uma caldeira a gás natural e uma bomba de calor desumidificadora instaladas nas respetivas zonas técnicas.

De seguida, apresenta-se um resumo das principais características dos equipamentos de produção de energia térmica:

Tabela 6 – Resumo dos subsistemas de produção de energia térmica

Tipo	Espaços	Qtd.	Pot. térmica aquecimento (kW)	Pot. térmica arrefecimento (kW)	COP/ Rendimento	EER
Caldeira a gás natural	Balneários e Nave	1	250,0	-	0,79	-
Desumidificador	Nave	1	21,7	17,1	2,7	2,9
	Total	2	271,7	17,1		

2.1.4.2 Subsistema de distribuição de energia térmica

A renovação do ar na zona dos balneários é feita através de um ventilador de insuflação e um ventilador de extração, enquanto na nave dá-se através da bomba de calor desumidificadora.

O processo nos balneários ocorre da seguinte maneira: o ar novo é direcionado a partir dos ventiladores de insuflação até às grelhas de insuflação, através de um conjunto de condutas. No

sentido inverso, o ar viciado é extraído a partir das grelhas de extração e um conjunto de condutas direciona-o para o ventilador de extração. Por sua vez, na zona da nave o ar novo tratado é direcionado desde a bomba de calor desumidificadora, que retira a humidade do ar, até às grelhas de insuflação através de um conjunto de condutas.



Figura 4 – Grelhas e condutas de extração de ar na zona da nave

Nos restantes espaços do edifício, a renovação do ar é feita apenas através de ventilação natural.

De seguida, apresenta-se um resumo das principais características dos equipamentos de distribuição de energia térmica:

Tabela 7 – Resumo dos subsistemas de distribuição de energia térmica

Tipo	Espaços	Qtd.	Potência unitária (kW)	Caudal (m³/h)
Desumidificador	Nave	1	6	6750
Ventilador de insuflação	Balneários	1	0,552	3500
Ventilador de extração	Balneários	1	0,368	1600
	Total	3	6,92	11850

2.1.5 Sistemas de produção de AQS

O edifício em estudo dispõe de um sistema solar térmico, composto por trinta e nove coletores solares, que totalizam uma área total de 108,4 m² para a produção de AQS, com o auxílio da caldeira a gás natural. O sistema solar térmico dispõe de um depósito de acumulação cilíndrico com permutador interno, com uma capacidade de 2000 litros, que serve a zona dos balneários.

De seguida, apresenta-se um resumo das principais características dos coletores solares presentes na instalação:

Tabela 8 – Características do sistema solar térmico

Coletores Solares	
Área individual (m ²)	2,78
Quantidade	39
Área total (m ²)	108,42
Rendimento ótico	0,691
Depósito de acumulação	
Tipo de sistema	Cilíndrico com permutador interno
Capacidade (l)	2000



Figura 5 – Coletores solares térmicos existentes no edifício

É estimado um consumo diário aproximado de 15 250 litros, para os banhos dos utentes e para a renovação de 4% do volume total de água da piscina.

O consumo do sistema de produção de AQS é estimado em cerca de 2,5 MWh/ano de eletricidade e de 261,3 MWh/ano de gás natural, dos quais 79,3 MWh/ano (30,3%) são fornecidos através do sistema solar térmico.

A caldeira a gás natural que garante a restante quota de produção de AQS tem uma potência de 250 kW e rendimento nominal de 0,83.

2.1.6 Iluminação

No imóvel foram identificados os seguintes tipos de iluminação interior: fluorescentes tubulares T8 (18 W, 36 W e 58 W); fluorescentes compactas (11 W, 18 W e 36 W); e iodetos metálicos (250 W).

As luminárias existentes dispõem de balastros ferromagnéticos e o controlo do horário de funcionamento da iluminação dos espaços é feito manualmente, pelo utilizador.

A potência total instalada em iluminação é de 9,4 kW, e como verificado através da análise da seguinte tabela, a maior contribuição é por parte das lâmpadas fluorescentes tubulares T8, com balastro ferromagnético. O consumo energético dos dispositivos de iluminação é estimado em cerca de 20,5 MWh/ano (17,7% do total consumido em eletricidade).

Seguidamente é apresentada a distribuição da potência instalada de iluminação por tipologia de lâmpada:

Tabela 9 – Resumo dos dispositivos de iluminação e respetiva densidade

Zona	Iluminação									
	FL T5		FL T8		IM		CFL		Total	
	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º	Pot. (kW)
Zona Úteis	0	0	140	7644	2	500	14	478	156	8,6
Zonas Complementares	1	38	15	675	0	0	1	20	17	0,7
Exterior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Total	1	38	155	8319	2	500	15	498	173	9,4



Figura 6 – Exemplo de lâmpadas FL T8 e CFL nas instalações

2.1.7 Equipamentos

Para além dos consumos inerentes à iluminação e ao sistema de AVAC, foram ainda contabilizados os consumos de energia associados a outros equipamentos.

As horas de funcionamento atribuídas aos principais consumidores foram determinadas tendo em conta a informação recolhida no local com os funcionários.

A potência total instalada em equipamentos elétricos no edifício em estudo é de 19,4 kW, incluindo: equipamentos de balneário, como secadores; equipamentos de escritório, tais como computadores, multifunções e monitores; equipamentos de refeitório, como frigoríficos e micro-ondas; e equipamentos de piscina tais como um aspirador. O consumo energético dos equipamentos é estimado em cerca de 28,0 MWh/ano (24,1 % do total consumido).

Na seguinte tabela é realizado um resumo, da potência instalada e respetiva densidade de equipamentos por cada um dos pisos:

Tabela 10 – Resumo dos equipamentos e respetiva densidade

Piso	Zona	Área (m ²)	Potência Equipamentos Elétricos (kW)
0	Z0.01 – Nave e Galeria	515,1	0
0	Z0.02 – Balneários	167,7	4,22
0	Z0.03 – IS	14,8	0,80
0	Z0.04 – Zona de circulação	24,0	0
0	Z0.05 – Receção e corredor	57,8	5,51
0	Z0.06 – Zona de circulação	8,9	0
0	Z0.07 – Refeitório	10,2	3,67
0	Z0.10 – Gabinete	6,6	0,56
0	Z0.11 – Zona de circulação	21,1	0,20
0	Z0.12 – Gabinete	14,4	1,99
0	ZC – Zonas técnicas	86,0	0,21
1	Z1.1 – Escadas	12,2	0
1	Z1.2 – Zona de circulação	19,9	0
1	Z1.3 – Gabinete	14,9	2,18
	Total	973,6	19,34

2.1.8 Análise dos Consumos Energéticos

No presente capítulo, é apresentada a evolução anual do consumo energético do edifício, repartido por fonte de energia, nomeadamente energia elétrica e gás natural.

2.1.8.1 Eletricidade

O regime contratado para alimentação de energia elétrica nas instalações é o seguinte: regime de BTE de longas utilizações, ciclo semanal sem feriados e em tarifa tetra-horária, sendo a potência contratada de 41 kW.

A análise das faturas teve em conta a energia ativa (consumida em horas de super vazio, vazio normal, ponta e cheias), energia reativa (em horas fora de vazio e de vazio) e potência (em horas de ponta e contratada), sendo o período de análise de Janeiro de 2011 a Junho de 2014.

De seguida, encontram-se os gráficos com a evolução dos consumos de energia ativa e reativa verificados nas faturas de eletricidade para o período referido anteriormente.

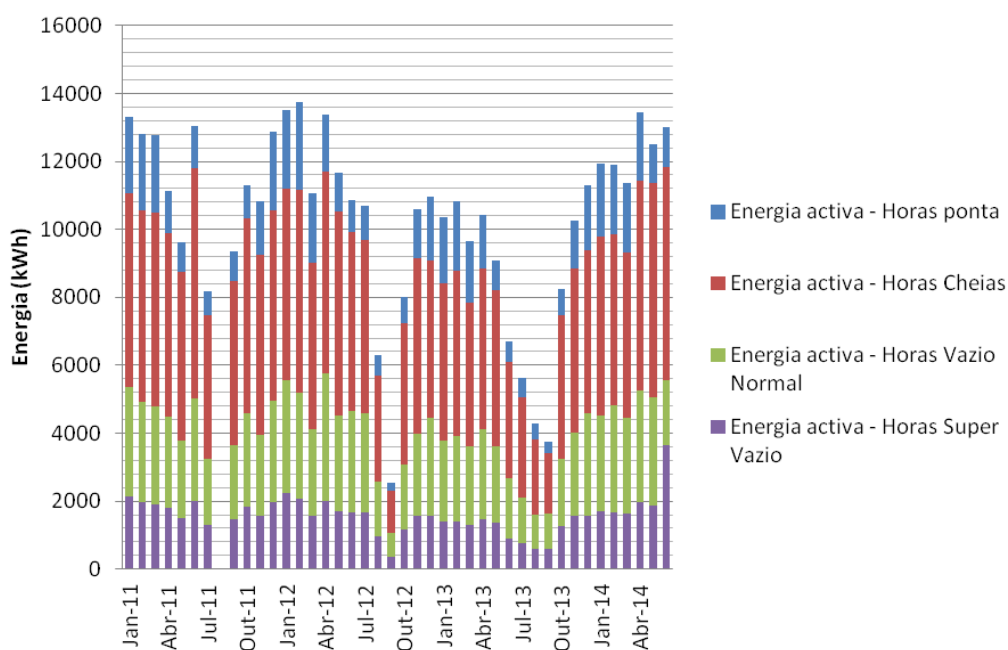


Figura 7 – Consumo mensal de energia ativa

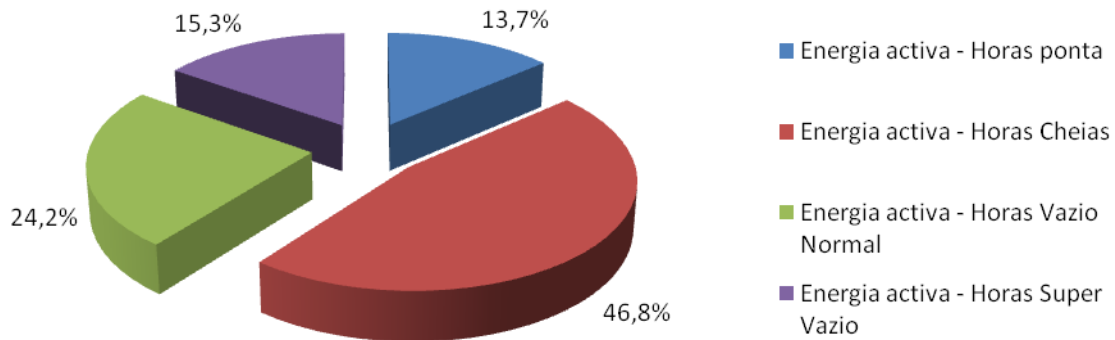


Figura 8 – Repartição do consumo de energia elétrica por períodos

Através da análise de faturas, conclui-se que grande parte do consumo de energia elétrica é feito em horas de cheia, chegando mesmo a representar cerca de 46,8 % do consumo total de eletricidade, seguindo-se o consumo em horas de vazio normal e super-vazio, com 24,2 % e 15,3%, respetivamente, e o consumo em horas de ponta com cerca de 13,7 %.

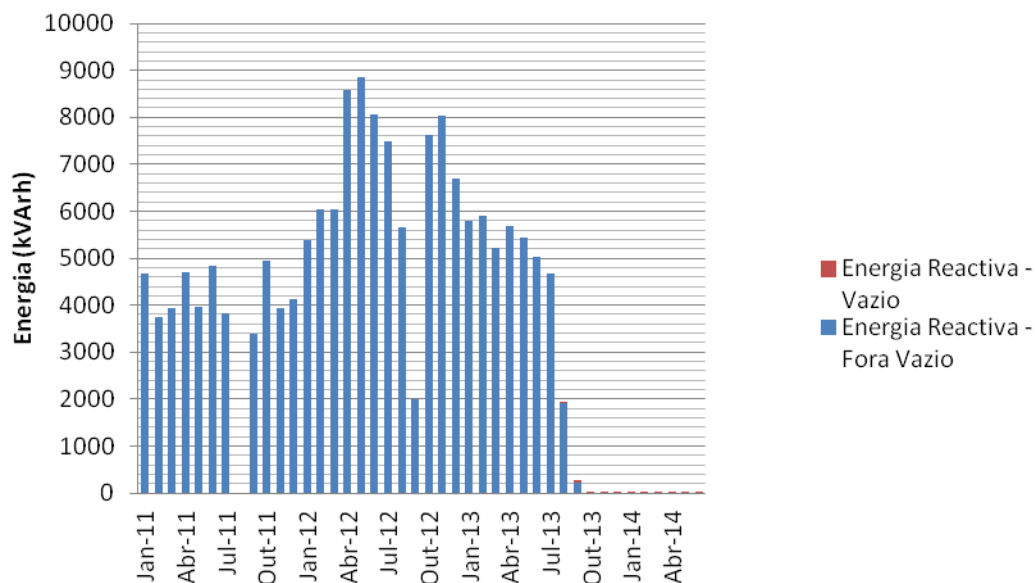


Figura 9 – Consumo mensal de energia reativa

Pela análise deste último gráfico, é possível constatar que a instalação, através da instalação de bateria de condensadores em Setembro de 2013, conseguiu retificar a energia reativa eliminando o custo associado à mesma, tendo apenas uma entrega à rede residual durante os períodos de vazio.

Em suma, durante este período, houve um consumo de energia ativa total de 423 149 kWh, ao passo que em termos de energia reativa total o valor consumido foi 166 564 kVArh. O custo total associado a estes consumos foi de 64 373 €, o que em média representa um valor superior a 1532 €/mês de eletricidade.

2.1.8.2 Gás Natural

O período de análise do consumo de gás natural está compreendido entre os meses de Janeiro de 2008 a Junho do ano de 2014.

Para as primeiras faturas, cujos valores de consumo de gás natural encontravam-se em m³ multiplicaram-se pelo valor do PCI do gás natural, 10,53 kWh/m³, de forma a obter-se os respetivos valores em kWh, tal como nas restantes faturas.

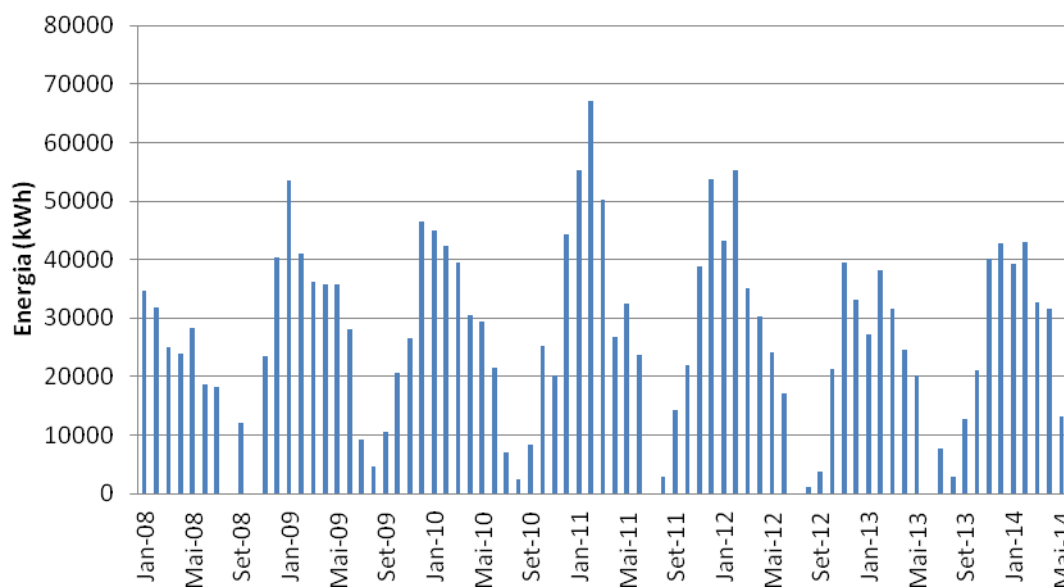


Figura 10 – Consumo mensal de gás natural

Através da análise do gráfico, constata-se um perfil relativamente constante ao longo de cada ano e também que, atualmente, a instalação tem um menor consumo mensal de gás natural do que em anos anteriores.

Ainda assim, foram consumidos um total de 1 307 558 kWh de gás natural, com um custo associado de 55 459 € que representa uma média mensal de, aproximadamente, 749 €.

2.1.8.3 Diagramas de carga

Procedeu-se à instalação de um analisador de energia no quadro geral, entre os dias 16/09/2014 e 22/09/2014, para monitorização dos consumos energéticos deste sistema. A monitorização deste sistema prende-se com o facto de ser necessário determinar com maior exatidão o período de funcionamento dos equipamentos e respetivos consumos. Foram apenas monitorizados seis dias completos pois este sistema tem algumas variações no consumo ao longo dos dias, contudo estas medições podem ser extrapoladas, com alguma segurança, para um horizonte temporal anual. Esta monitorização foi realizada com intervalos de medições de 10 minutos.

O diagrama de carga do quadro geral permite observar uma potência, relativamente constante, de 100 kW durante o período de funcionamento do edifício, sendo que fora deste período a mesma baixa para cerca de metade, 5 kW.

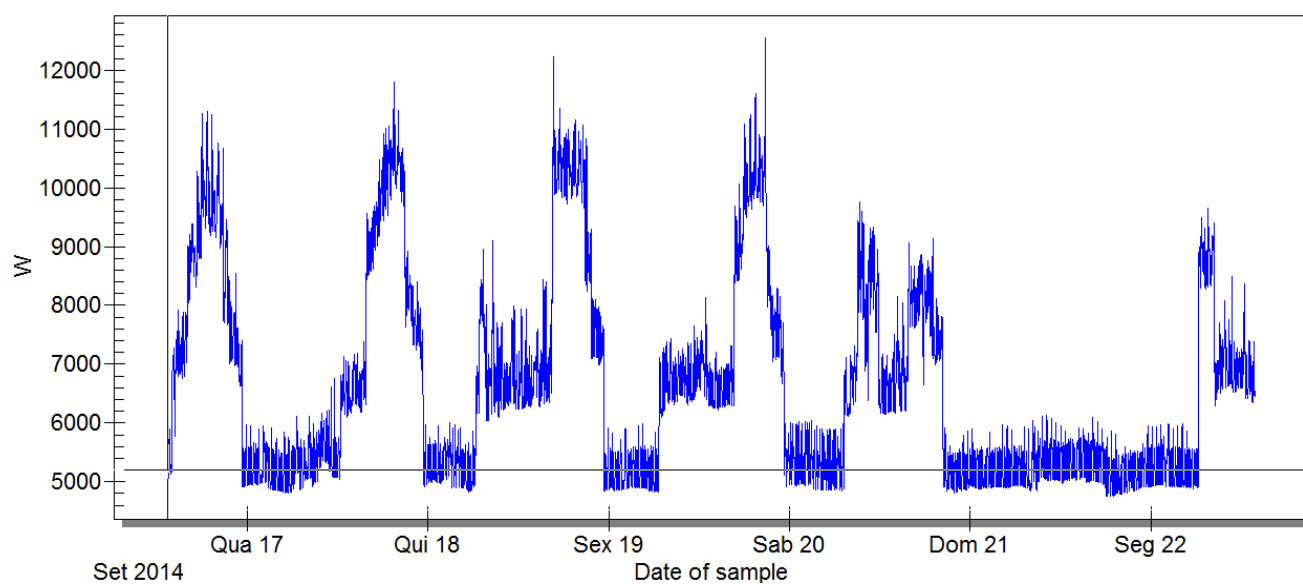


Figura 11 – Diagrama de carga do quadro geral da piscina

2.2 Piscina Municipal de Alhos Vedros

2.2.1 Descrição geral

O segundo objeto de estudo, destinado a atividade desportiva com piscina, é a Piscina Municipal de Alhos Vedros, igualmente constituído por dois pisos acima do nível do solo, localizado no interior da zona urbana de Alhos Vedros. Encontra-se a uma altitude de 14 m em relação ao nível médio das águas do mar tendo sido inaugurado no final do ano de 2000 e, tal como o caso de estudo anterior, situa-se na zona climática de Inverno II e na zona climática de Verão V3, e tem as mesmas temperaturas para o mês mais frio e para o período entre Junho e Setembro, algo que é justificado pela proximidade dos dois casos de estudo.

O conjunto de frações apresenta a seguinte distribuição de espaços e zonas consoante o tipo de utilização e atividade que se desenvolve em cada um:

- Piso 0: nave, balneários, zonas de circulação, instalações sanitárias, armazéns, zonas técnicas, escritórios e posto médico;
- Piso 1: escritórios, armazéns, zonas técnicas, refeitório, instalações sanitárias, zonas de circulação e galeria.

O sistema de climatização existente é composto por duas unidades de expansão direta tipo *split*, duas bombas de calor desumidificadoras, ventiladores de insuflação e extração e, ainda, três caldeiras a gás natural, que também são utilizadas para a produção de AQS. A iluminação interior é na sua maioria lâmpadas fluorescentes tubulares e fluorescentes tubulares compactas.

Por sua vez, a iluminação exterior é constituída por lâmpadas de iodetos metálicos e fluorescentes tubulares compactas.

Neste caso não existe compensação do fator de potência.



Figura 12: Imagem satélite da localização do caso de estudo – Piscina Municipal de Alhos Vedros

2.2.2 Ocupação

Existiu a indicação que a média diária de utentes é de 176, de acordo com os participantes nas várias atividades que ocorrem nas instalações. O horário de funcionamento da piscina é das 7h30 até às 21h45, durante os dias de semana, das 7h30 até às 19h30 aos Sábados e das 7h30 às 13h aos Domingos. Na seguinte tabela é feito um resumo de cada zona térmica considerada, indicando-se a área útil de pavimento e número médio de ocupantes.

Tabela 11 – Caracterização da ocupação

Piso	Tipo de Espaço	Área (m ²)	Nº médio ocupantes
0	Z0.1 – Zona de circulação	178,0	0
0	Z0.2 – Receção	14,6	2
0	Z0.3 – Posto médico	11,5	0
0	Z0.4 – IS	19,8	0
0	Z0.5 – Gabinete	19,1	3
0	Z0.6 – Balneários	183,8	48
0	Z0.7 – Armazéns	25,8	0
0	Z0.8 – Nave	720,0	48
0	Z0.9 – IS	2,5	0
0	Z0.11 – Armazéns	54,1	0
0	ZC – Zonas técnicas	182,6	0
1	Z1.1 – Zona de circulação	4,2	0
1	Z1.2 – Armazéns	12,9	6
1	Z1.3 – Refeitório	11,3	4
1	Z1.4 – IS	25,8	0
1	Z1.5 – Zona de circulação	130,0	0
1	Z1.6 – Gabinete	31,6	2
Área Total (m²)		1627,6	

Através da análise da tabela anterior, considera-se uma área total de 1627,3 m² com um pé-direito médio ponderado de 4,58 m. Relativamente ao número de ocupantes, este refere-se ao número usual de ocupantes em cada zona, sendo que não significa que estejam todas elas com ocupação em simultâneo. Nos anexos 9.9 e 9.10 encontram-se as plantas de arquitetura com a indicação de cada uma das zonas térmicas consideradas.

2.2.3 Envolvente

Durante a auditoria, foi confirmado o levantamento geométrico disponível na forma de peças desenhadas do imóvel, através da medição direta das principais dimensões do interior do edifício. Foram igualmente identificados os espaços não úteis, para os quais se considerou, por defeito, um b_{tr} de 0,8, e a classe de inércia do edifício sendo média, de acordo com a Tabela 03 do Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 [9]. As restantes considerações feitas no estudo do caso anterior permaneceram inalteradas.

Nos anexos 9.11, 9.12, 9.13, 9.14, 9.15 e 9.16 encontram-se as plantas de arquitetura com a indicação da delimitação da envolvente considerada.

2.2.3.1 Paredes

Relativamente à envolvente opaca vertical, foi identificado um tipo de parede exterior e um tipo de parede interior. Na seguinte tabela apresenta-se um resumo das respetivas soluções construtivas existentes:

Tabela 12 – Constituição da envolvente – Paredes

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Orientação	Caraterização	U (W/m ² .K)
Tipo I	Exterior	Todos os Pisos	N, W, E e S	Parede exterior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque e revestimento exterior em reboco, com uma espessura total da parede de 0,30 m.	1,10
Tipo II	Interior	Piso 0	W, E e S	Parede interior dupla em alvenaria de tijolo furado, com revestimento interior em estuque, com uma espessura total da parede de 0,30 m.	1,47



Figura 13: Tipo de parede exterior das instalações

2.2.3.2 Coberturas

Quanto à envolvente opaca horizontal, identificaram-se dois tipos de cobertura exterior. Na seguinte tabela apresenta-se um resumo das respetivas soluções construtivas existentes:

Tabela 13 – Constituição da envolvente – Coberturas

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Orientação	Caraterização	U (W/m ² .K)
Tipo I	Exterior	Escritórios, Circulação, IS, Zonas Técnicas, Armazéns e Refeitório	Horizontal	Cobertura exterior tipo pesada horizontal, com revestimento interior em estuque, laje de betão, betonilha de assentamento e revestimento exterior.	2,60
Tipo II	Exterior	Nave e Galeria	Inclinada	Cobertura exterior tipo leve inclinada, com revestimento interior e revestimento exterior em chapa metálica.	3,80



Figura 14: Cobertura do tipo II vista do interior

2.2.3.3 Pavimentos

Foi igualmente identificado apenas um tipo de pavimento em contacto com o solo, cujas caraterísticas encontram-se descritas na tabela seguinte:

Tabela 14 – Constituição da envolvente – Pavimento

Tipo	Tipo de envolvente	Local	Caraterização	U (W/m ² .K)
Tipo I	Em contacto com solo	Piso 0	Pavimento em contacto com solo do tipo pesado em laje de esteira horizontal, constituída por revestimento interior, betonilha de assentamento e laje de betão.	1,00

2.2.3.4 Vãos envidraçados

Finalmente, identificaram-se cinco tipologias de vãos envidraçados. Na seguinte tabela apresenta-se um resumo das soluções construtivas encontradas:

Tabela 15 – Constituição da envolvente – Vãos envidraçados

Tipo	Local	Orientação	Cor vidro	Caraterização	U (W/m ² .K)
VE1	Receção, Circulação, Nave	N, W e S	Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, incolor, com abertura fixa, sem proteção solar.	3,82
VE2	Receção, Circulação, Nave, Zonas Técnicas, IS, Refeitório	N, E, W e S	Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, incolor, com abertura giratória, sem proteção solar.	4,20
VE3	Circulação e Gabinete Técnico	E, S	Refletante Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, refletante incolor, com abertura fixa, sem proteção solar.	3,82
VE4	Circulação e Gabinete Técnico	E, S	Refletante Incolor	Vidro duplo 6+8+6 mm, com caixilharia metálica sem corte térmico, refletante incolor, com abertura giratória, sem proteção solar.	4,20
VE5	Circulação	H	Refletante Incolor	Vidro simples, com caixilharia metálica sem corte térmico, Refletante incolor, com abertura fixa, sem proteção solar.	6,00



Figura 15: Vãos envidraçados existentes na zona da nave

2.2.4 Sistemas AVAC

O edifício possui um sistema de climatização descentralizado, existindo para o efeito duas unidades de expansão direta tipo *split* para climatização das zonas de receção e escritórios, três caldeiras a gás natural para climatização das zonas dos balneários e da nave, duas bombas de calor desumidificadoras e ventiladores de insuflação e extração para renovação do ar na zona da nave e dos balneários.

A caracterização dos equipamentos ou sistemas instalados fez-se da mesma forma que anteriormente.

O consumo de eletricidade do sistema de AVAC é estimado em cerca de 214,5 MWh/ano (71,8 % do total consumido).

2.2.4.1 Subsistema de produção de energia térmica

A produção de energia térmica é garantida através de duas unidades de expansão direta tipo *split*, presentes na secretaria e no gabinete técnico e três caldeiras a gás natural e uma bomba de calor desumidificadora instaladas nas respectivas zonas técnicas.

De seguida, apresenta-se um resumo das principais características dos equipamentos de produção de energia térmica:

Tabela 16 – Resumo dos subsistemas de produção de energia térmica

Tipo	Espaços	Qtd.	Pot. térmica aquecimento (kW)	Pot. térmica arrefecimento (kW)	COP/Rendimento	EER
Caldeira a gás natural	Balneários e Nave	3	120,00	-	0,91	-
Desumidificador	Nave	2	-	45,80	-	3,23
Unidade de expansão direta tipo <i>split</i>	Secretaria	1	-	3,45	-	2,54
Unidade de expansão direta tipo <i>split</i>	Gabinete Técnico	1	4,12	3,30	3,03	2,64
Total		7	364,12	98,35		

2.2.4.2 Subsistema de distribuição de energia térmica

A renovação do ar na zona dos balneários é feita através de um ventilador de insuflação e um ventilador de extração, ao passo que na nave acontece através das duas bombas de calor desumidificadoras.

Este processo é exatamente igual na zona dos balneários ao caso de estudo anterior. O mesmo acontece na zona da nave, sendo a única diferença existirem agora duas bombas de calor

desumidificadoras a transformar o ar quente e húmido em ar quente e seco, ao invés de apenas uma. Nos restantes espaços do edifício, a renovação do ar é, novamente, feita apenas através de ventilação natural.

De seguida, apresenta-se um resumo das principais características dos equipamentos de distribuição de energia térmica:

Tabela 17 – Resumo dos subsistemas de distribuição de energia térmica

Tipo	Espaços	Qtd.	Potência unitária (KW)	Caudal (m³/h)
Desumidificador	Nave	2	2,20	18600
Ventilador de insuflação	Balneários	1	0,55	3100
Ventilador de extração	Balneários	1	0,75	1600
Total		4	5,70	23300

2.2.5 Sistemas de produção de AQS

O edifício em estudo dispõe de três caldeiras a gás natural para a produção de AQS, com o auxílio de dois depósitos de acumulação cilíndricos, com uma capacidade total de 2000 litros, e ainda de um permutador de placas.

As três caldeiras, que atuam na zona da nave e dos balneários, têm, cada uma, 132 kW de potência e apresentam um rendimento nominal de 0,91.

É estimado um consumo aproximado de 14400 litros para os banhos e para a renovação de 3% do volume total de água da piscina, por dia.

O consumo do sistema de produção de AQS, neste caso de estudo, é estimado em cerca de 5,9 MWh/ano de eletricidade e de 297,3 MWh/ano de gás natural.



Figura 16: Caldeiras, à esquerda, e uma das bombas de calor desumidificadoras, à direita

2.2.6 Iluminação

No imóvel foram identificados os seguintes tipos de iluminação interior: fluorescentes tubulares T8 (18 W, 36 W e 58 W); fluorescentes compactas (11 W e 18 W); incandescentes (35 W e 40 W); halogénios (50 W); e iodetos metálicos (400 W). Relativamente à iluminação exterior encontram-se presentes apenas dois tipos de iluminação: fluorescentes compactas (18 W); e iodetos metálicos (35W e 400 W).

Neste segundo caso, também as luminárias existentes dispõem de balastros ferromagnéticos e o controlo do horário de funcionamento da iluminação dos espaços é feito manualmente, pelo utilizador.

A potência total instalada em iluminação é de 17,9 kW, e como verificado através da análise da seguinte tabela, a maior contribuição é por parte das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e de iodetos metálicos. O consumo energético dos dispositivos de iluminação é estimado em cerca de 37,18 MWh/ano (11,9 % do total consumido em eletricidade).

Em seguida, é apresentada a distribuição da potência instalada de iluminação por tipologia de lâmpada:

Tabela 18 – Resumo dos dispositivos de iluminação e respetiva densidade

Zona	Iluminação											
	FL T8		CFL		HAL		INC		IM		Total	
	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º Total	Pot. Total (W)	N.º	Pot. (kW)
Zona Úteis	101	4459	118	3260	6	300	12	425	12	4800	249	13,2
Zonas Complementares	33	2160	0	0	0	0	0	0	0	0	33	2,2
Exterior	0	0	24	672	0	0	0	0	10	1810	34	2,5
Total	134	6619	142	3932	6	300	12	425	22	6610	316	17,9

2.2.7 Equipamentos

A potência total instalada em equipamentos elétricos neste segundo caso de estudo é de 23,55 kW incluindo o mesmo tipo de equipamentos elétricos do caso anterior. O consumo energético dos equipamentos é estimado em cerca de 35,0 MWh/ano (11,2 % do total consumido).

Na seguinte tabela é realizado um resumo, da potência instalada e respetiva densidade de equipamentos por cada um dos pisos:

Tabela 19 – Resumo dos equipamentos e respetiva densidade

Zona	Área (m²)	Potência Equipamentos Elétricos (kW)
Z0.1 – Zona de circulação	177,97	3,41
Z0.2 – Receção	14,55	2,98
Z0.3 – Posto médico	11,54	0
Z0.4 – IS	19,80	1,75
Z0.5 – Gabinete	19,14	0,24
Z0.6 – Balneários	183,47	6,30
Z0.7 – Armazéns	25,84	0
Z0.8 – Nave	719,96	0
Z0.9 – IS	2,52	0
Z0.11 – Armazéns	54,14	0
ZC – Zonas técnicas	4,18	0
Z1.1 – Zona de circulação	12,90	4,11
Z1.2 – Armazéns	11,28	0
Z1.3 – Refeitório	25,84	3,50
Z1.4 – IS	130,04	0
Z1.6	31,57	1,05
ZC	182,58	0,21
Total	1627,32	23,55

2.2.8 Análise dos Consumos Energéticos

No presente capítulo, é apresentada a evolução anual do consumo energético do edifício, repartido por fonte de energia, nomeadamente energia elétrica e gás natural.

2.2.8.1 Eletricidade

Neste segundo caso de estudo, o regime contratado para alimentação de energia elétrica nas instalações é de BTE de médias utilizações, ciclo semanal sem feriados e em tarifa tetra-horária, sendo a potência contratada de 52 kW.

A análise das faturas teve igualmente em conta a energia ativa (consumida em horas de super vazio, vazio normal, ponta e cheias), energia reativa (em horas fora de vazio e de vazio) e potência (em horas de ponta e contratada), sendo o período de análise referente aos meses entre Junho de 2011 a Junho de 2014.

De seguida, encontram-se os gráficos com a evolução dos consumos de energia ativa e reativa verificados nas faturas de eletricidade para o período referido anteriormente.

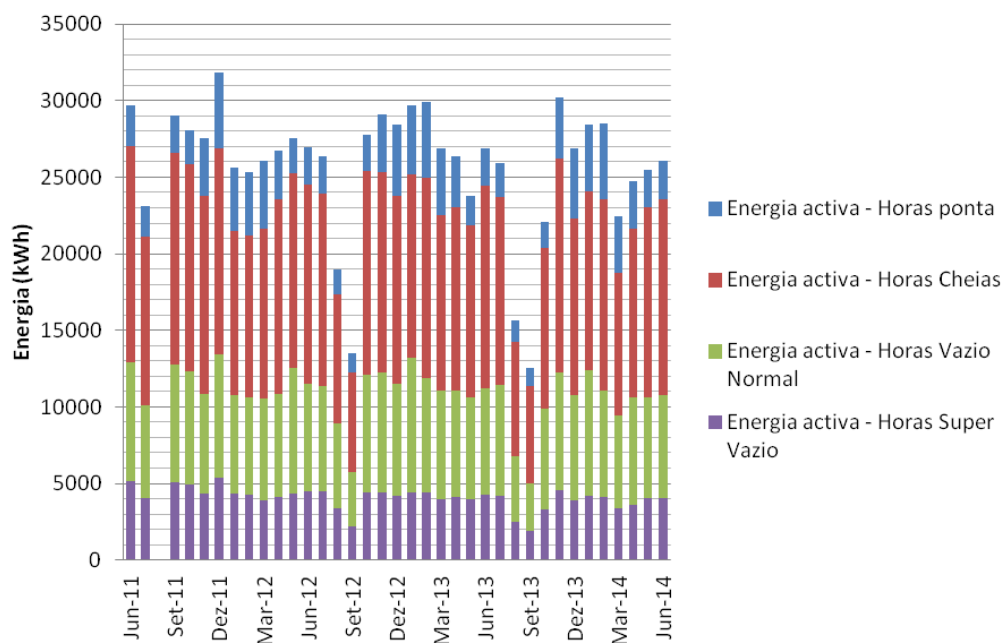


Figura 17 – Consumo mensal de energia ativa

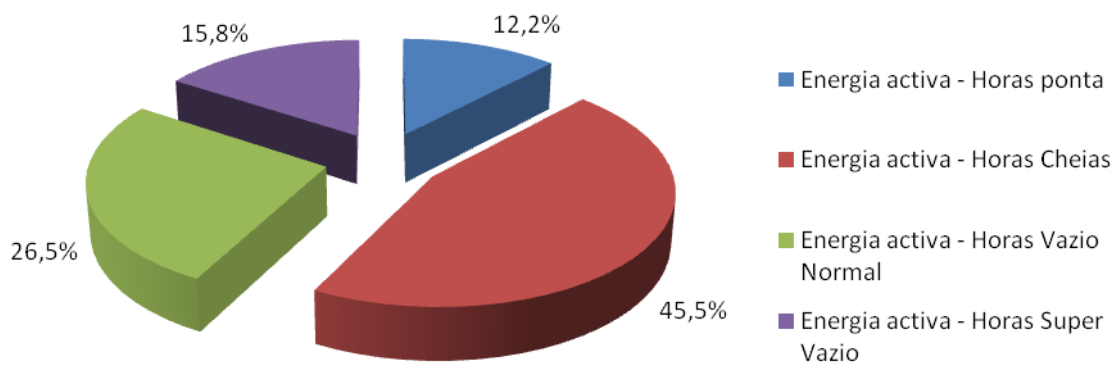


Figura 18 – Repartição do consumo de energia eléctrica por períodos

Através da análise de faturas, é possível observar que a proporção em que os consumos de eletricidade são feitos em cada horário é praticamente a mesma em ambas as instalações, uma vez que os valores percentuais são muito próximos para qualquer horário.

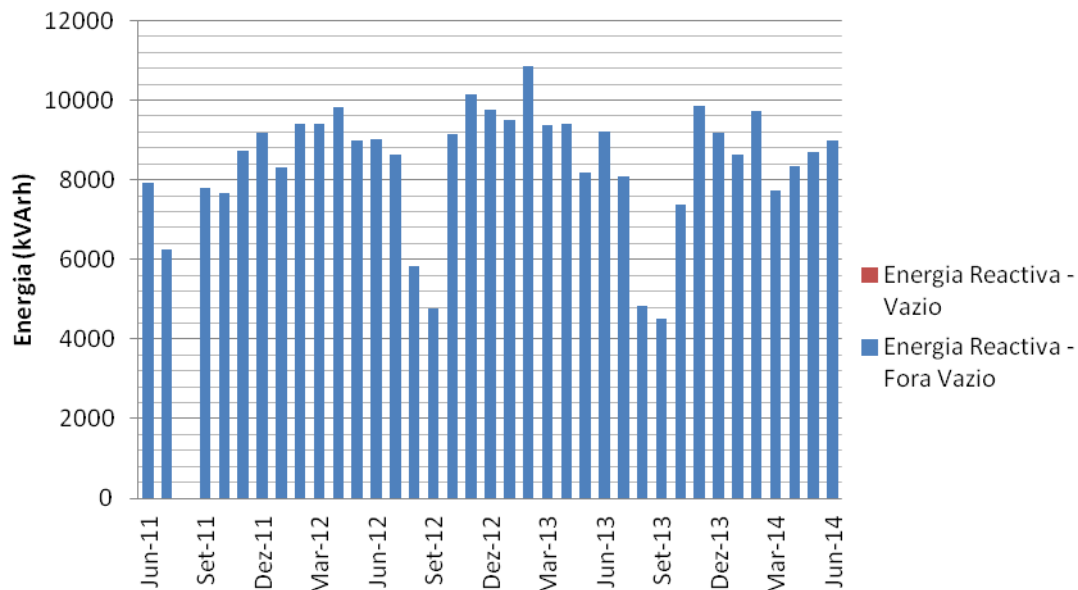


Figura 19 – Consumo mensal de energia reativa

Relativamente ao consumo de energia reativa, verifica-se que este existiu durante todo o período analisado ao contrário do primeiro caso de estudo, o que se deve à ausência da instalação de bateria de condensadores.

Em suma, durante este período, houve um consumo de energia ativa total de 924 080 kWh, bem superior ao primeiro caso de estudo, enquanto que em termos de energia reativa total o valor consumido foi mais aproximado, 105 165 kVArh. No entanto, dado que as tarifas da eletricidade para

esta instalação são mais baratas, o custo total associado a estes consumos foi de 47 626 €, o que em média representa um valor pouco superior a 1287 € por mês de eletricidade, quase menos 250 €/mês que o primeiro caso.

2.2.8.2 Gás Natural

O período de análise do consumo de gás natural está compreendido entre os meses de Janeiro de 2011 a Junho do ano de 2014.

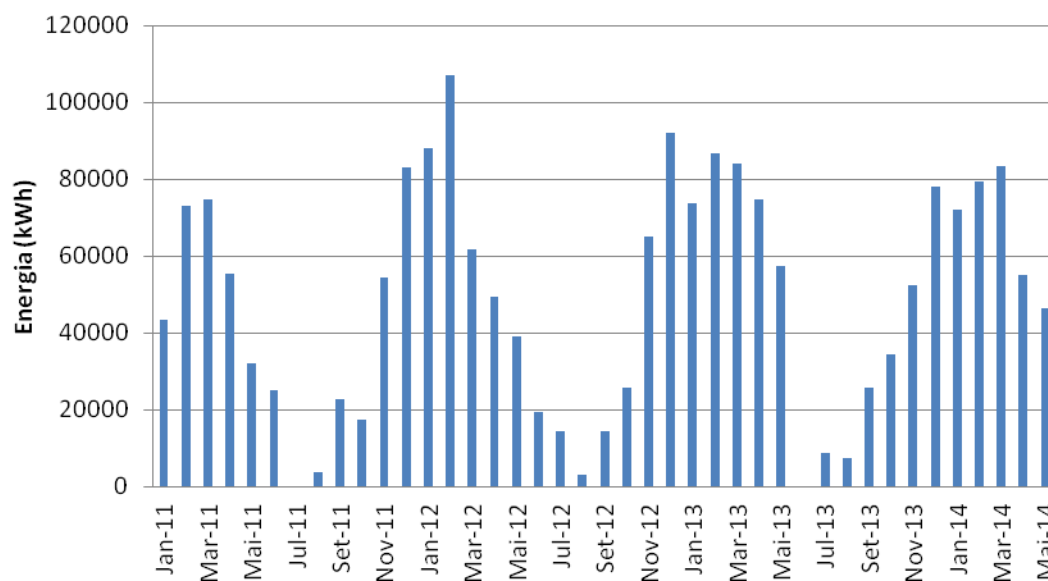


Figura 20 - Consumo mensal de gás natural

Pela análise do gráfico, verifica-se que é nos meses correspondentes à estação de aquecimento que o consumo de gás natural é superior, o que seria expetável uma vez que há uma maior necessidade de climatização devido às temperaturas exteriores serem mais baixas.

No total foram consumidos 2 012 086 kWh de gás natural, com um custo associado de 110 333 € que representa uma média mensal de, aproximadamente, 2758 €. Os valores para este caso de estudo são bem mais elevados, justificado pelo consumo efetuado pelas três caldeiras e, ainda, a ausência de um sistema solar térmico.

2.2.9 Diagramas de carga

Procedeu-se à instalação de um analisador de energia no quadro geral, entre os dias 22/09/2014 e 01/10/2014, para monitorização dos consumos energéticos deste sistema. O processo de monitorização deste sistema efetuou-se de forma análoga ao primeiro caso de estudo, com a diferença de ter sido feito ao longo de 10 dias.

O diagrama de carga do quadro geral permite observar uma potência, relativamente constante, de 330 kW durante o período de funcionamento do edifício (9h-22h) e outro período menos constante fora do período de funcionamento.

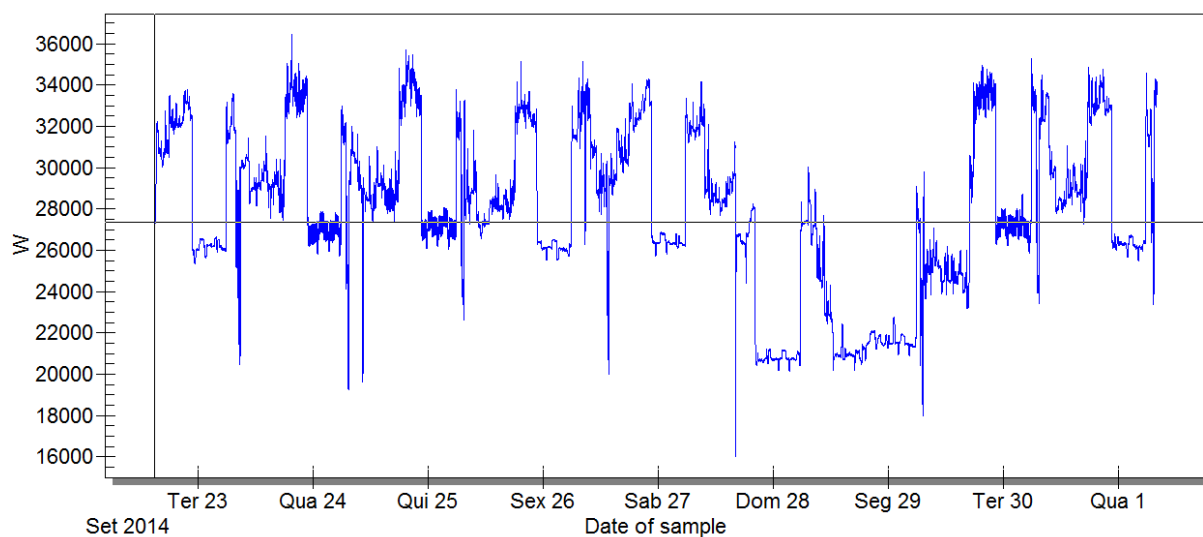


Figura 21 – Diagrama de carga do quadro geral da piscina

3. Simulação Energética do Edifício

De forma a desagregar os consumos energéticos e estudar as várias medidas de eficiência energética que se pretendem implementar, foi primeiramente necessária a elaboração de um modelo que simulasse a realidade existente no edifício em estudo. No presente capítulo é abordada a fase de modelação, a caracterização do modelo, e, por fim, a sua validação através da análise dos possíveis desvios cometidos por simulação.

3.1 Caracterização dos modelos de simulação

A elaboração dos modelos, utilizando o *software Hourly Analysis Program v4.8* (simplificando, HAP), foi antecedida pelas auditorias com o objetivo de recolher a informação necessária referente à envolvente dos edifícios, seguindo-se a fase de levantamento dos sistemas técnicos e da atividade existente nos edifícios, ou seja, potências e perfis de funcionamento de iluminação, equipamentos, temperaturas, ocupação, infiltrações de ar e outros parâmetros relevantes para a simulação.

Para a determinação dos perfis de funcionamento associados a cada sistema, num período diário, realizou-se uma estimativa tendo em conta os períodos *stand-by* e nominais dos equipamentos.

3.2 Determinação da carga latente

O ambiente na zona da nave, de qualquer uma das piscinas, é submetido a uma carga latente muito elevada, devido à evaporação de água do tanque das piscinas. Por isso mesmo, determinou-se a carga latente previamente à simulação energética dos edifícios, de modo a serem contabilizadas no modelo de simulação do *software* HAP.

Em primeiro lugar determinou-se a taxa de evaporação da água, através da seguinte equação [13]:

Equação 1 – Equação de cálculo da taxa de evaporação de água

$$\dot{m}_{\text{evaporação}} = (0,0070 + 0,0053 \times v) \times A_p \times (W_p - W_n) \times F_A \quad [\text{kg/s}]$$

Em que:

v – Velocidade do ar, sobre a superfície da piscina [m/s];

A_p – Área da superfície da piscina [m²];

W_p – Humidade absoluta do ar saturado, à temperatura da piscina [kg ar/kg água];

W_n – Humidade absoluta do ar, à temperatura da nave [kg ar/kg água];

F_A – Fator de atividade da piscina, sendo igual a 1 por se tratar de piscinas públicas cobertas;

Depois, procedeu-se ao cálculo do calor latente de vaporização, que está somente dependente da temperatura da água (T_a), que é igual em ambos os casos de estudo, 28°C:

Equação 2 – Equação de cálculo do calor latente de vaporização

$$L_v = 2500,8 - 2,36 \times T_a + 0,0016 \times T_a^2 - 0,000016 \times T_a^3 \quad [\text{kJ/kg}]$$

Com estas duas variáveis determinadas, foi então possível calcular a carga latente total:

Equação 3 – Equação de cálculo da carga latente total

$$Q_{\text{latente}} = \dot{m}_{\text{evaporação}} \times L_v \quad [\text{kW}]$$

Na tabela seguinte, encontram-se os resultados de cada variável, para os dois casos de estudo:

Tabela 20 – Resultados das três variáveis descritas acima, em cada caso de estudo

Piscina	$\dot{m}_{\text{evaporação}}$ (kg/s)	L_v (kJ/kg)	Q_{latente} (kW)
Alcochete	0,0023	2435,6	5,6
Alhos Vedros	0,0136	2435,6	33,1

Como seria de esperar, a carga latente é bem superior no segundo caso, dado que a piscina municipal de Alhos Vedros tem uma área quase duas vezes superior à de Alcochete. Para este resultado também tem influência a diferença de humidades absolutas ser superior no caso de Alhos Vedros, resultante de uma temperatura e humidade relativa do ar ambiente inferiores às do caso de Alcochete.

3.2.1 Determinação das necessidades de AQS

Para o cálculo das necessidades de AQS, utilizou-se o *software Solterm 5.1.3* introduzindo desde logo a localidade para cada caso de estudo (Alcochete e Moita, respetivamente), de forma a carregar os dados climáticos respetivos.

3.2.1.1 Balneários

O primeiro cálculo das necessidades de AQS foi para a zona dos balneários, referente aos banhos tomados pelos clientes. Para tal, recorreu-se ao horário das aulas e a frequência média das mesmas, dados fornecidos pelas próprias instalações. Assumiu-se um valor de 25 litros, a 60 °C, por pessoa, o que multiplicando pelo número de pessoas a frequentar a piscina em cada hora traduziu-se no volume total gasto de água quente, nesta zona.

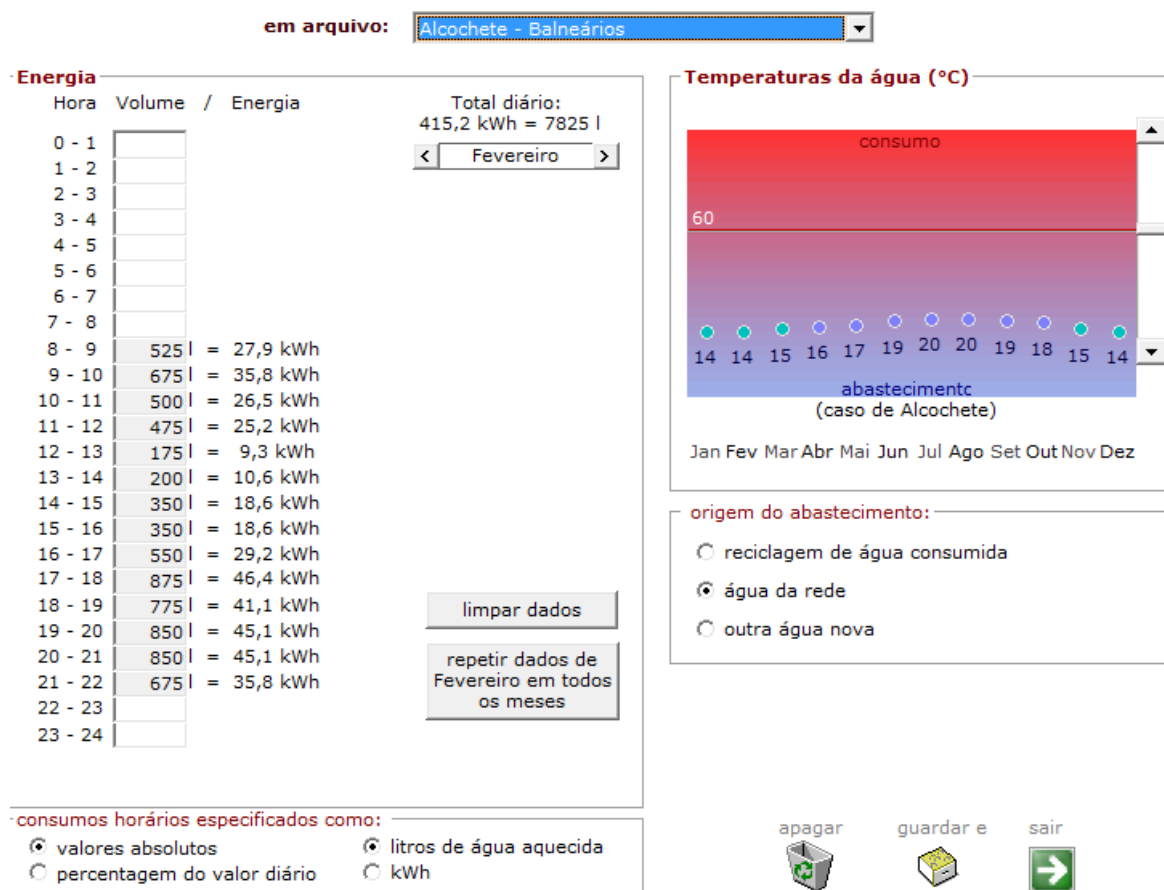


Figura 22 - Editor de consumos de AQS para a zona dos balneários

Como é perceptível pela figura anterior, o *Solterm* converte de imediato o consumo de litros de água aquecida para kWh. Repetiram-se estes valores para todos os outros meses do ano, com exceção de Agosto, onde as instalações estão encerradas.

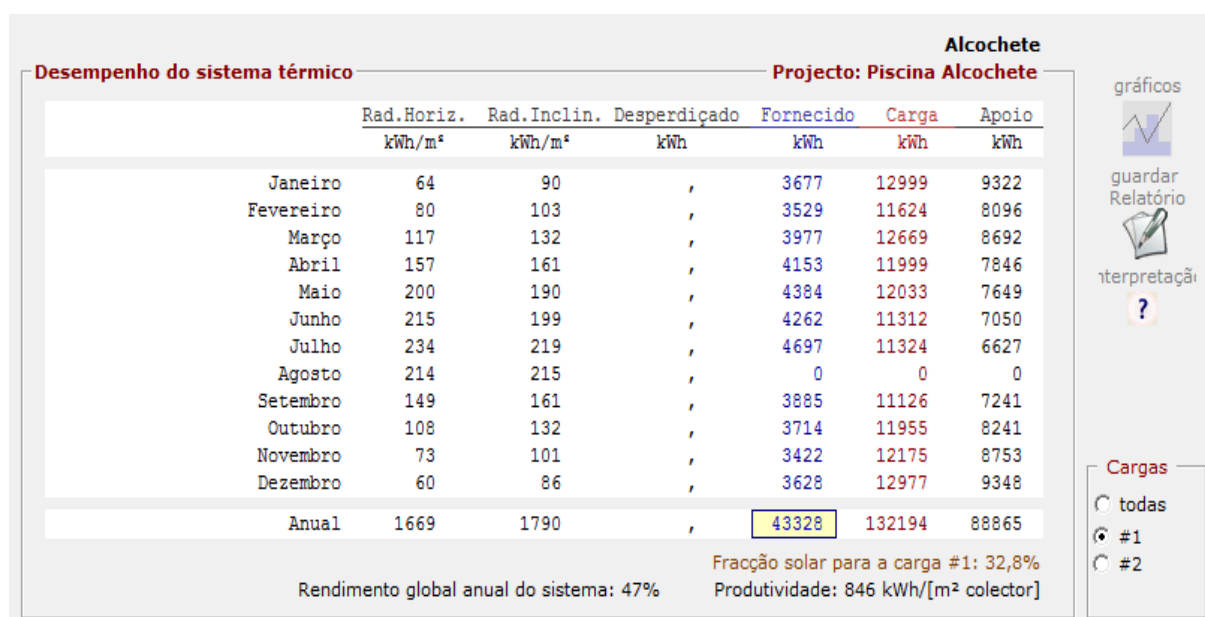


Figura 23 - Análise energética do sistema térmico com carga referente aos balneários

Após a simulação, obtiveram-se os resultados presentes na figura anterior, sendo que os valores da coluna a vermelho, referentes à carga, serão os utilizados para a simulação de todo o edifício posteriormente. Importa referir ainda que nos meses de Setembro e Outubro apenas se consideram metade das necessidades calculadas, uma vez que a lotação, em média, é 50% inferior aos outros meses.

Para o segundo caso de estudo, o procedimento efetuado foi o mesmo.

3.2.1.2 Piscina

Em segundo lugar, para o cálculo das necessidades de AQS referentes ao tanque utilizou-se a opção de piscina coberta no próprio *software* e introduziram-se os dados necessários para o mesmo fazer a simulação: área e volume do tanque, temperatura da água e da zona da nave, humidade relativa, percentagem de renovação diária do volume de água do tanque e, ainda, o número de nadadores por hora.

Tendo a área do tanque e a profundidade média do mesmo, foi possível calcular o volume de água existente através da seguinte relação:

Equação 4 – Equação de cálculo do volume do tanque

$$\text{Volume} = \text{Área} \times \text{profundidade média} \quad [\text{m}^3]$$

Calculando para ambos os casos de estudo, os resultados foram os seguintes:

Tabela 21 - Dimensões referentes aos tanques dos dois casos de estudo

Piscina	Área (m ²)	Profundidade média (m)	Volume (m ³)
Alcochete	16,5 x 10,5 = 173,25	1,40	242,55
Alhos Vedros	25 x 12,5 = 312,50	1,49	465,63

Os restantes dados foram cedidos e/ou testados previamente para aferir a sua veracidade. Utilizando o primeiro caso de estudo como exemplo, a figura seguinte ilustra todos os dados inseridos no *software*, assim como as perdas térmicas por evaporação, radiação e convecção:

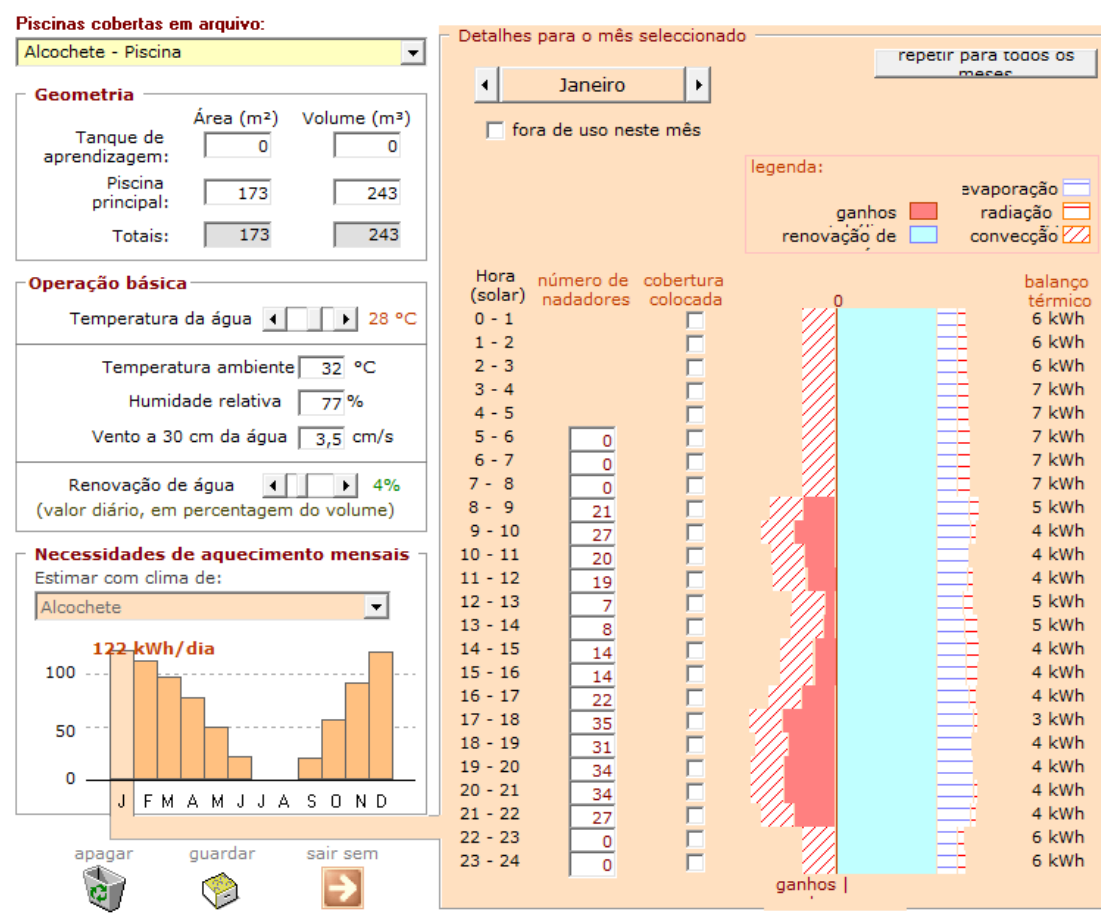


Figura 24 - Características e operação de piscina coberta

Os únicos meses que diferem do da figura anterior são Agosto, Setembro e Outubro, sendo que nestes dois últimos a única alteração passa por voltar a reduzir o número de nadadores a metade.

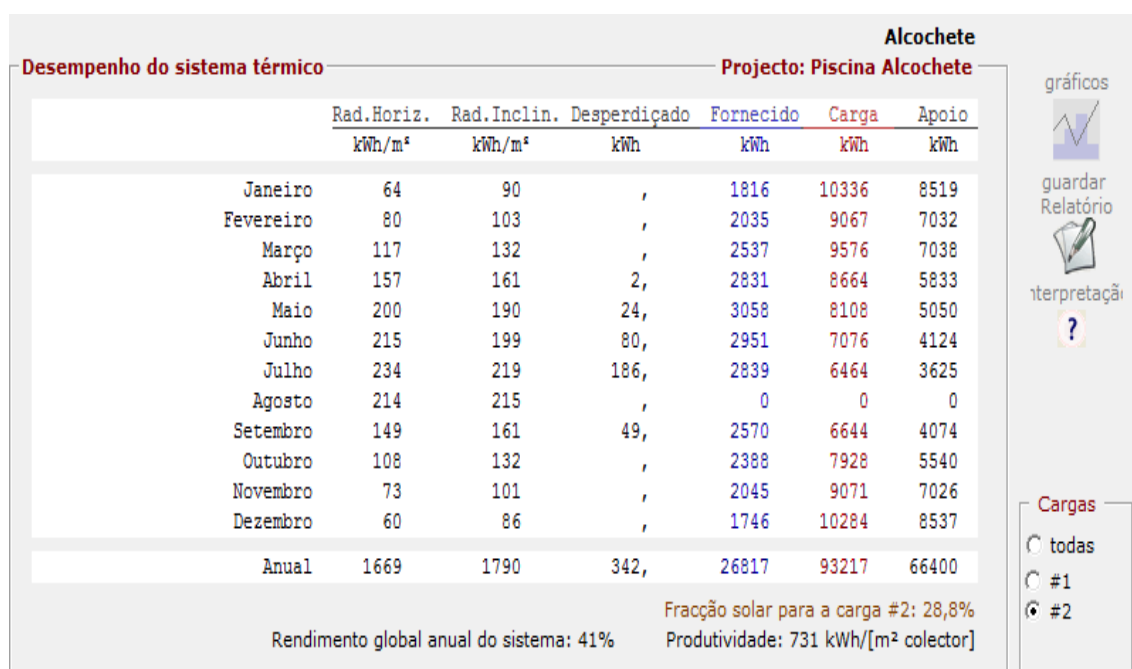


Figura 25 - Análise energética do sistema térmico com carga referente à piscina

Já em relação ao mês de Agosto, as instalações encontram-se encerradas pelo que não existem nadadores, contudo é feita uma única renovação total do volume do tanque. Esse consumo energético é calculado através da seguinte equação:

Equação 5 – Equação de cálculo do consumo de AQS

$$Q = \frac{\rho \times V \times Cp \times \Delta T}{3600 \times 1000} \quad [\text{kWh}]$$

Em que:

ρ - Densidade [kg/ m³];

V – Volume do tanque [m³];

Cp – Calor específico da água, a pressão constante [J/(kg.K)]

ΔT – Diferença de temperatura entre a água injetada e temperatura da água no tanque [K];

As diferenças relativas aos meses de Agosto, Setembro e Outubro também se aplicam para o segundo caso de estudo.

3.3 Validação dos modelos de simulação

Na calibração dos modelos de simulação utilizaram-se todos os elementos relativos às condições reais de funcionamento do edifício, nomeadamente ocupação, equipamentos, iluminação e *setpoints* de temperatura obtidos no processo de auditoria. A contabilização do caudal de ar insuflado diretamente nos espaços teve como base o projeto de AVAC. Os ficheiros com os dados climáticos utilizados para calibração dos modelos de simulação foram disponibilizados, para este efeito, pela entidade gestora do SCE, a ADENE.

O processo de validação do modelo consiste na comparação dos valores obtidos por simulação com os valores médios mensais referentes às faturas da eletricidade e de gás natural, denominados por consumos mensais ano tipo.

De forma a calibrar os modelos de simulação é necessário verificar que os consumos obtidos por simulação estejam dentro do desvio de +/- 20% do consumo mensal faturado e +/- 10% do consumo total anual faturado. ¹

¹ Estes valores percentuais foram definidos pela equipa da *Self Energy*, tendo por base a experiência em projetos anteriores semelhantes.

3.3.1 Piscina Municipal de Alcochete

Antes de se proceder à análise dos resultados da simulação do edifício correspondente à Piscina Municipal de Alcochete, foi necessário calcular a quantidade de energia fornecida mensalmente pelo sistema solar térmico existente nas instalações. Para isso, recorreu-se novamente ao *Solterm* que efetua a simulação numérica de balanços energéticos, tendo em conta os dados climáticos de um ano de referência.

Dado que não existia, na sua base de dados, o tipo de coletor solar térmico existente nas instalações do primeiro caso de estudo, procedeu-se à sua criação introduzindo os seus valores da área de abertura, rendimento ótico e os coeficientes a_1 e a_2 .

Selecionando depois o tipo de depósito, sistema de apoio e os consumos, definidos anteriormente, obteve-se o sistema térmico completamente definido.

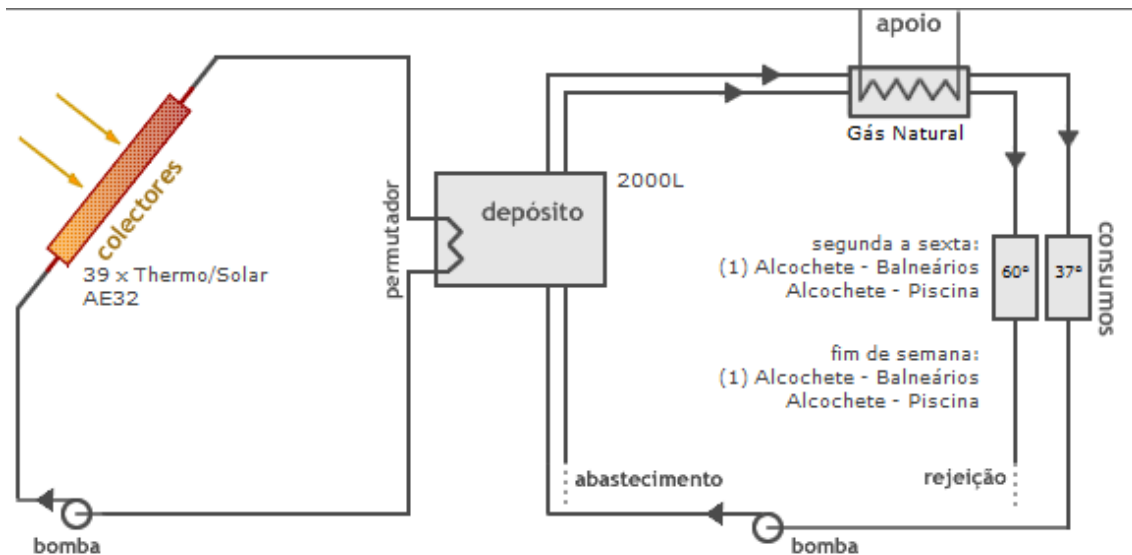


Figura 26 - Caraterização do sistema térmico

Fazendo a simulação do desempenho energético deste sistema obtiveram-se os resultados da figura seguinte, dos quais importa considerar a coluna a azul que corresponde à energia fornecida somente pelo conjunto de coletores solares térmicos.

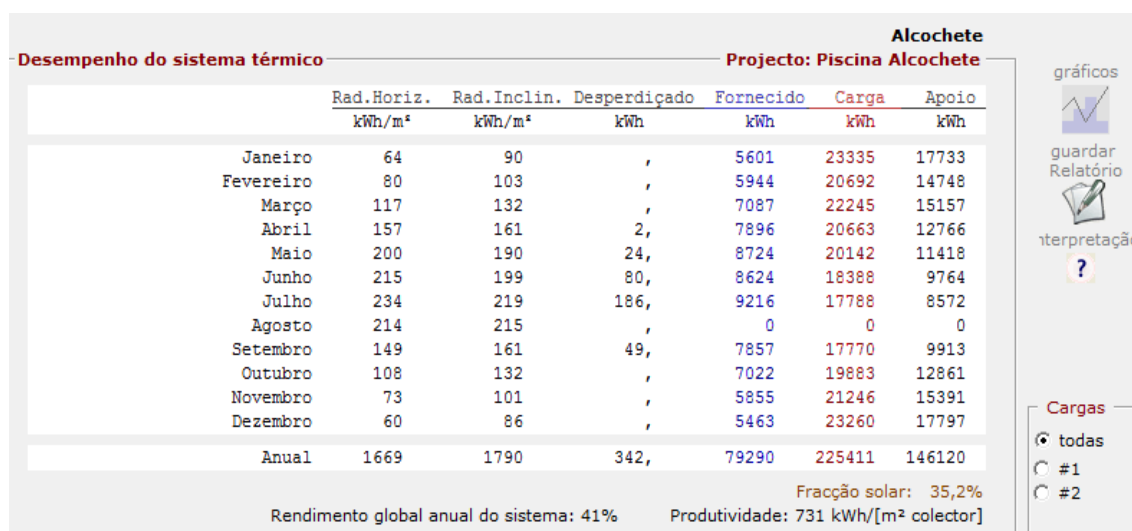


Figura 27 - Análise energética do sistema solar térmico

Tendo então os valores correspondentes ao consumo de gás natural que é colmatado pelo sistema solar térmico, é possível calcular o consumo de gás natural que é efetivamente faturado. Para isso, aos valores mensais obtidos pela simulação subtrai-se os valores de energia fornecida pelo conjunto de coletores solares. Os resultados encontram-se na tabela seguinte:

Tabela 22 - Consumos mensais de gás natural

Mês	Consumos mensais de gás natural - simulação		
	Gás Natural	Solar Térmico	(Gás Natural - Solar Térmico)
	kWh	kWh	kWh
Jan	55690	5601	50089
Fev	46852	5944	40908
Mar	43633	7087	36546
Abr	37401	7896	29505
Mai	32139	8724	23415
Jun	25204	8624	16580
Jul	21506	9216	12290
Ago	2734	0	2734
Set	18408	7857	10551
Out	26466	7022	19444
Nov	44327	5855	38472
Dez	53568	5463	48105
Total	407929	79289	328640

Comparando os valores de eletricidade e gás natural faturados com os valores obtidos por simulação através do HAP, constata-se que os valores totais, para ambos os consumos energéticos, estão relativamente próximos.

Tabela 23 - Comparação dos consumos mensais de eletricidade e gás natural

Mês	Consumos mensais ano tipo			Consumo mensais obtidos por simulação		
	Eletricidade	Gás Natural	Total	Eletricidade	Gás Natural	Total
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan	12325	37740	50065	11722	50089	61811
Fev	11214	45013	56227	11290	40908	52198
Mar	12095	37221	49316	11550	36546	48096
Abr	10719	29179	39898	10676	29505	40181
Mai	10902	28865	39767	10785	23415	34200
Jun	8168	20384	28552	10257	16580	26836
Jul	5286	10590	15876	5520	12290	17810
Ago	3143	2802	5945	3446	2734	6180
Set	9184	10304	19488	7809	10551	18360
Out	10556	22032	32588	10630	19444	30074
Nov	11705	39448	51153	11160	38472	49632
Dez	12267	43470	55737	11354	48105	59458
Total	117564	327047	444611	116195	328640	444835

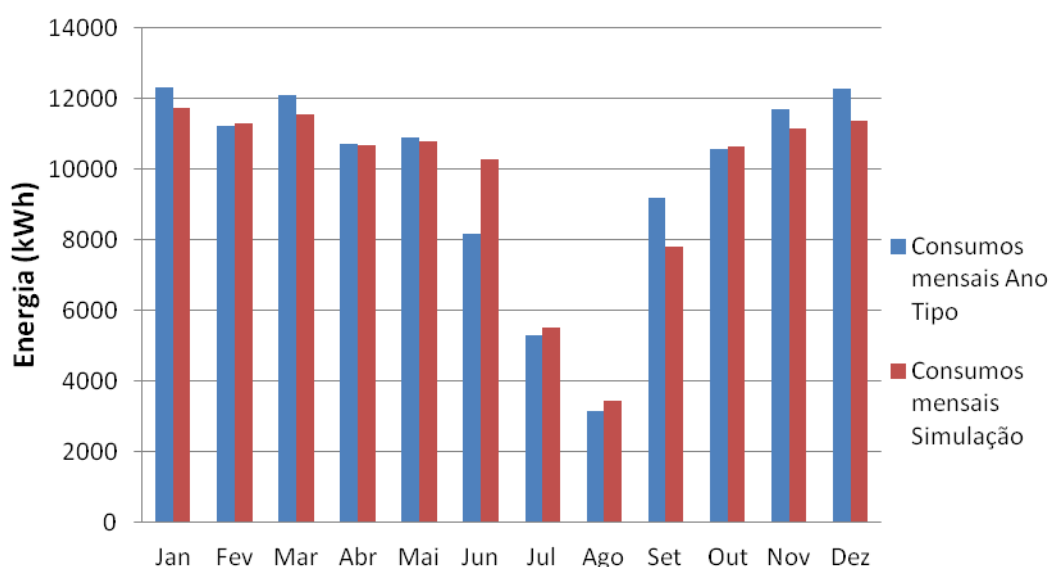


Figura 28 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – eletricidade

Verificou-se a existência de um consumo elétrico relativamente constante durante os meses da estação fria mas superior aos meses de Verão, o que estará relacionado com as necessidades de aquecimento para garantir as condições de conforto. Nos meses da estação quente este consumo é inferior, sendo o mínimo no mês de Agosto, período em que as instalações estão encerradas.

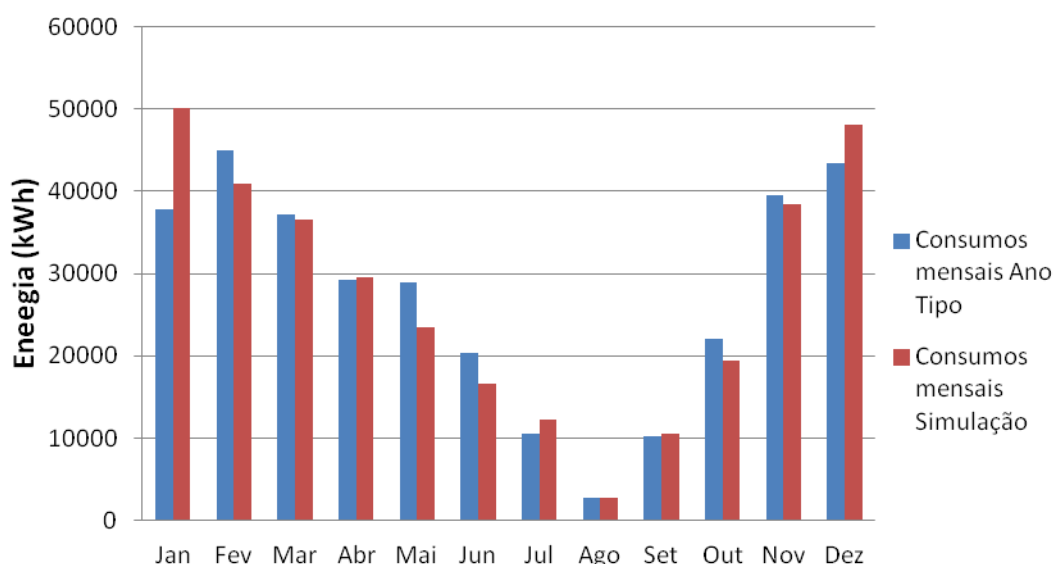


Figura 29 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – gás natural

Em relação ao consumo do ano tipo de gás natural, este é maior durante os meses de Dezembro e Janeiro, dado que são os meses em que a temperatura exterior é mais reduzida, como tal é necessário um maior consumo de gás, tanto para AVAC como AQS.

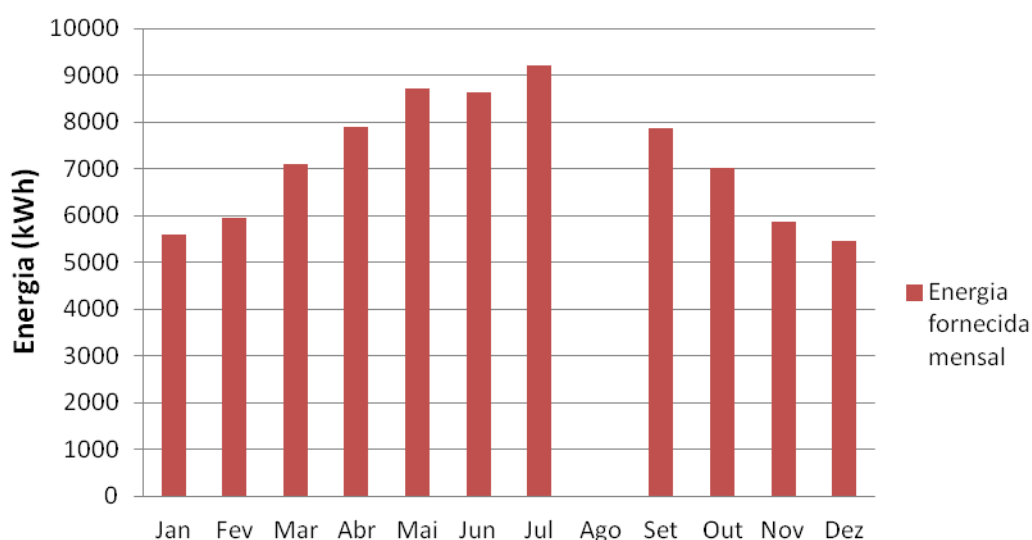


Figura 30 - Energia fornecida mensalmente pelo sistema solar térmico

Quanto à contribuição por parte do sistema solar térmico, comprova-se que é nos meses da estação de arrefecimento que há mais energia fornecida para o aquecimento de águas sanitárias, como seria de esperar, uma vez que radiação solar é superior nesta altura.

Do resultado da calibração, representado na seguinte tabela, objetivou-se um desvio para o consumo de energia elétrica cerca de -1%, 0,5% para o gás natural:

Tabela 24 – Desvio cometido na simulação do edifício

Designação	Consumo eletricidade (kWh/ano)	Desvio (%)	Consumo gás natural (kWh/ano)	Desvio (%)
Valor médio anual das faturas	117564	-1,2	327047	0,5
Valor obtido por simulação	116195		328640	

3.3.2 Piscina Municipal de Alhos Vedros

No segundo caso de estudo também se observa uma proximidade aceitável entre os valores de consumo total de eletricidade e gás natural para ambos os casos (ano tipo e simulação).

Tabela 25 – Comparação dos consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação

Mês	Consumos mensais Ano Tipo			Consumo mensais obtidos por simulação		
	Eletricidade	Gás Natural	Total	Eletricidade	Gás Natural	Total
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan	27930	77955	105885	30663	89422	120086
Fev	25142	86635	111777	28946	75066	104012
Mar	25927	75937	101864	29347	68209	97556
Abr	25596	58594	84190	27412	57445	84858
Mai	27397	43769	71166	27057	45430	72487
Jun	25117	24418	49535	28179	23070	51249
Jul	17313	11509	28822	16952	10125	27077
Ago	13027	4640	17667	11472	4591	16063
Set	25976	20911	46887	21895	18069	39963
Out	28954	29993	58947	30389	25897	56286
Nov	29051	57204	86255	29014	67216	96230
Dez	27900	84378	112277	29982	84027	114010
Total	299330	575942	875271	311312	568565	879878

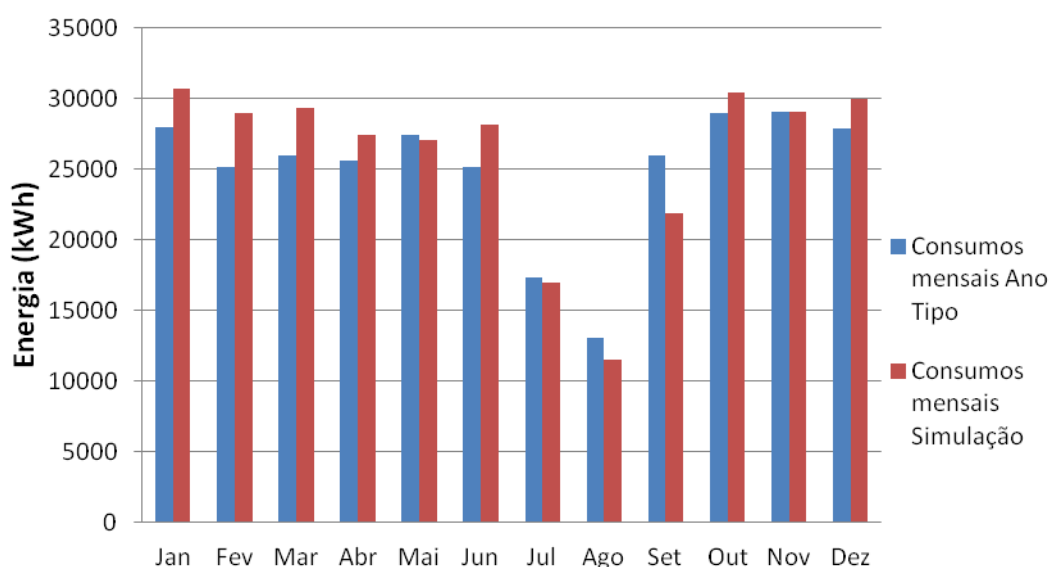


Figura 31 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – eletricidade

Comprovou-se a existência de um consumo elétrico relativamente constante durante todo o ano, com exceção dos meses de Julho e Agosto, período no qual as instalações não se encontram a funcionar de forma regular. Ainda assim, os meses com maior consumo de eletricidade são, à semelhança do caso anterior, os correspondentes à estação fria.

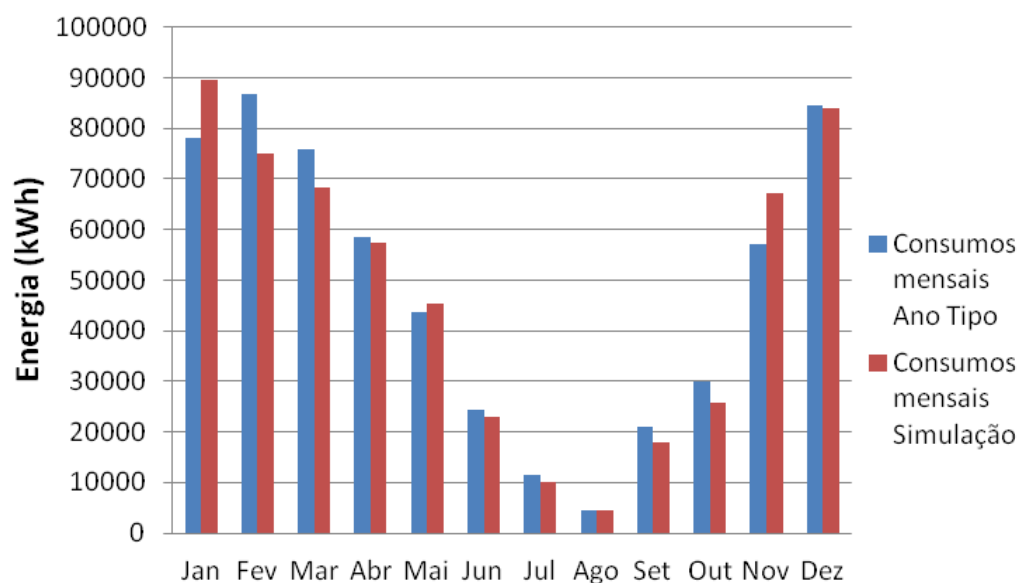


Figura 32 – Consumos mensais do ano tipo e obtidos por simulação – gás natural

Quanto ao ano tipo do consumo de gás natural, este é claramente superior durante os meses de Inverno, devido às reduzidas temperaturas exteriores que se fazem sentir, como tal é necessário um maior consumo de gás para AVAC e AQS.

Do resultado da calibração, representado na seguinte tabela, objetivou-se um desvio para o consumo de energia elétrica cerca de 4% e 3% para o gás natural:

Tabela 26 – Desvio cometido na simulação do edifício

Designação	Consumo eletricidade (kWh/ano)	Desvio (%)	Consumo gás natural (kWh/ano)	Desvio (%)
Valor médio anual das faturas	299330	4,0	575942	-1,2
Valor obtido por simulação	311312		568565	

Os modelos de simulação elaborados podem ser considerados representativos da realidade existente em cada edifício, mesmo tendo em conta algumas incertezas, como por exemplo o perfil exato da ocupação e utilização dos vários sistemas existentes nas instalações.

Outra variável existente que condiciona o desvio é o facto do ficheiro climático utilizado na simulação poder apresentar pequenas diferenças em relação ao ano tipo considerado para cada caso de estudo.

3.4 Desagregação dos consumos de energia

Ambas as instalações consomem energia sob a forma de eletricidade e gás natural. Com o auxílio da informação recolhida pelos analisadores de energia, levantamentos realizados e das simulações energéticas dos edifícios, foi possível desagregar consumos energéticos pelas várias utilizações verificadas no local.

3.4.1 Piscina Municipal de Alcochete

Para o primeiro caso de estudo, os consumos de eletricidade e gás natural estão divididos da seguinte maneira:

Tabela 27 – Desagregação de consumos energéticos por utilização

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Iluminação	20540	18	2779	0	-	0
Equipamentos	28005	24	3790	0	-	0
Sistemas AVAC	45795	39	6197	146617	36	9369
AQS	2533	2	343	261312	64	16698
Sistemas não-AVAC	19322	17	2615	0	-	0
Total	116195	100	15724	407929	100	26067

O consumo de energia elétrica total é composto por: sistemas AVAC e equipamentos com 39% e 24% do valor total consumido, respetivamente, correspondendo aos maiores consumidores na instalação. A restante parte do consumo é em iluminação com 20%, sistemas não-AVAC com 17% e AQS com 2%.

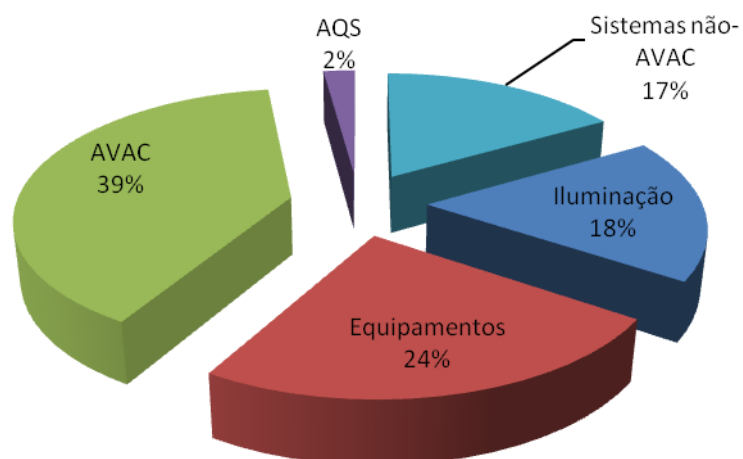


Figura 33 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização - Eletricidade

Por outro lado, o consumo de gás natural divide-se de forma maioritária para o consumo de AQS em comparação com os sistemas AVAC, enquanto nos restantes setores não há qualquer consumo.

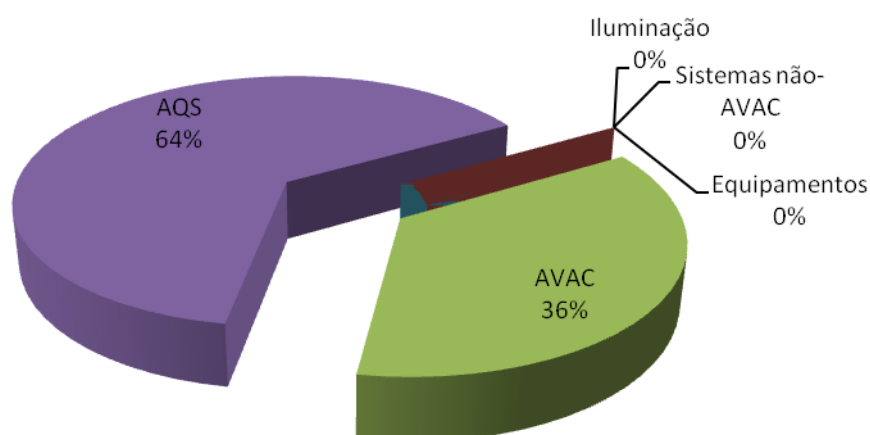


Figura 34 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Gás Natural

O consumo energético de sistemas AVAC pode ainda ser subdividido em produção, distribuição e difusão de energia térmica (aquecimento e arrefecimento) e ventilação e bombas não associadas à climatização dos espaços (para os sistemas não-AVAC).

Tabela 28 – Desagregação de consumos energéticos dos sistemas AVAC

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Produção – Aquecimento	10189	15	1072	146617	100	4370,85
Produção – Arrefecimento	1832	3	193	0	-	0
Ventilação e bombas AVAC	33774	52	3553	0	-	0
Ventilação e bombas não-AVAC	19322	30	2033	0	-	0
Total	65117	100	6850	146617	100	4370,85

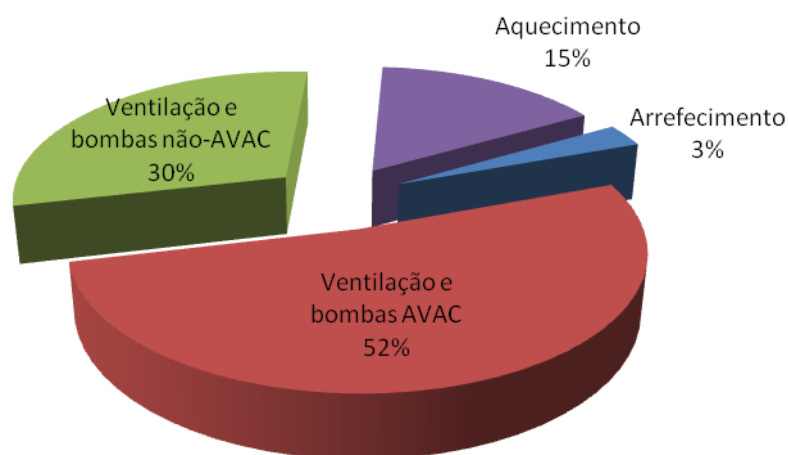


Figura 35 – Desagregação dos consumos energéticos referentes ao AVAC – Eletricidade

Estima-se que a ventilação e bombas afetas à climatização representem cerca de 52%, enquanto que a ventilação e bombas não afetas à climatização tenham uma quota de 30% do total de eletricidade consumida para esse mesmo efeito. Os restantes 18% estão associados às necessidades de aquecimento e arrefecimento, sendo 15% e 3%, respetivamente.

É ainda possível realizar uma desagregação do consumo de energia primária, tendo em consideração os setores de atividade da instalação. A tabela seguinte apresenta os resultados dessa desagregação:

Tabela 29 – Desagregação de consumos energéticos por setor

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Piscina	96090	83	13003	328640	100	21001
Áreas Complementares	20104	17	2721	0	0	0
Total	116195	100	15724	328640	100	21001

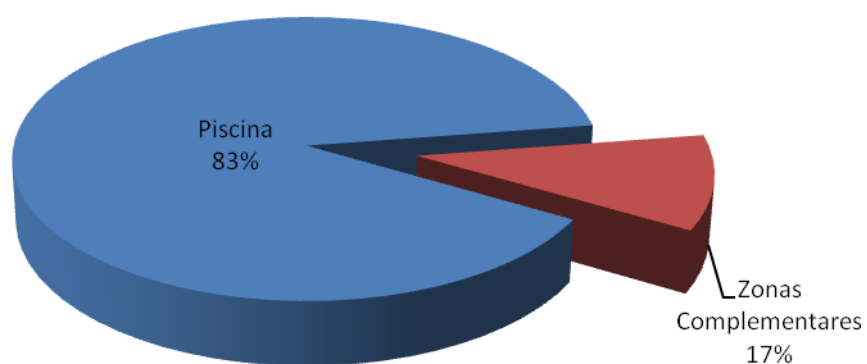


Figura 36 – Desagregação dos consumos energéticos por setor – Eletricidade

3.4.2 Piscina Municipal de Alhos Vedros

Para o segundo caso de estudo, os consumos de eletricidade e gás natural estão divididos da seguinte maneira:

Tabela 30 – Desagregação de consumos energéticos por utilização

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Iluminação	37181	12	5819	0	-	0
Equipamentos	34998	11	5477	0	-	0
Sistemas AVAC	91405	30	14305	271283	48	17336
AQS	5892	2	922	297282	52	18997
Sistemas não-AVAC	140846	45	22043	0	-	0
Elevadores e Tapetes Rolantes	990	0	155	0	-	0
Total	311312	100	48722	568565	100	36333

O consumo de energia elétrica total é composto por: sistemas não-AVAC, com 45%, e AVAC, com 30% do valor total consumido, que correspondem aos maiores consumidores na instalação, aos quais se adicionam a iluminação, equipamentos e AQS, com 12%, 11% e 2%, respetivamente. Destaque, ainda, para a existência de um consumo residual derivado da existência de um elevador.

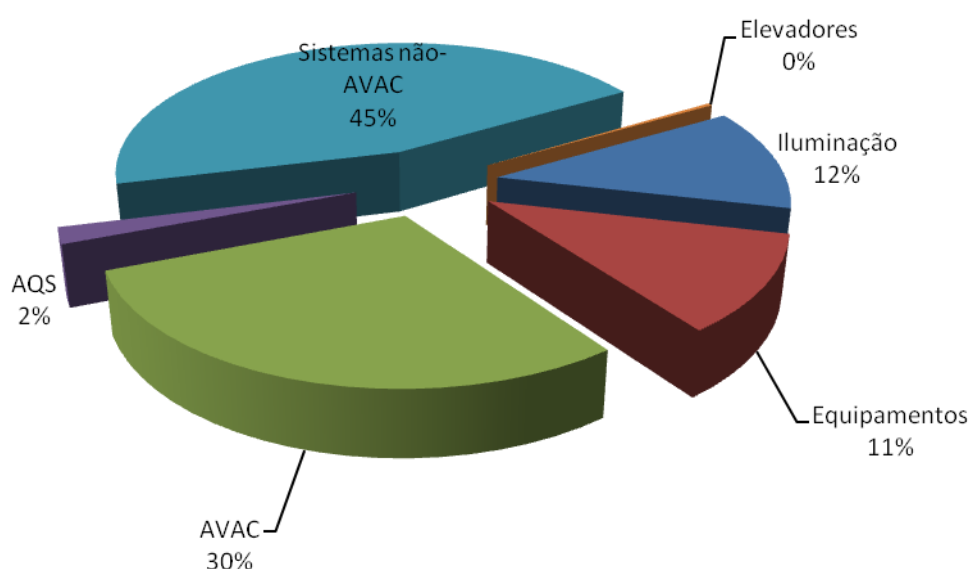


Figura 37 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Eletricidade

O consumo de gás natural é repartido de forma praticamente igual entre consumo de AQS, com 52 % do valor total consumido, e AVAC com 48%.

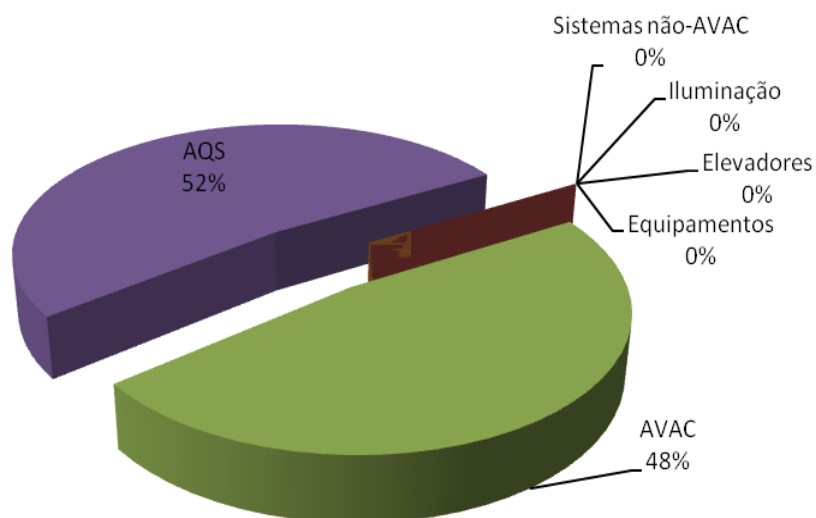


Figura 38 – Desagregação dos consumos energéticos por utilização – Gás Natural

Fazendo novamente uma subdivisão para o consumo energético de sistemas AVAC, percebe-se que o cenário neste caso de estudo muda em comparação com o primeiro, pois agora mais de metade do consumo elétrico é associado à ventilação não-AVAC. Isto deve-se essencialmente ao elevado consumo feito por dois VE's presentes na casa das máquinas, que são englobados neste setor por se tratar um espaço não útil, e das bombas dos filtros da piscina.

Tabela 31 – Desagregação de consumos energéticos dos sistemas AVAC

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Produção – Aquecimento	40054	17	6269	271283	100	17336
Produção – Arrefecimento	8916	4	1395	0	-	0
Ventilação e bombas AVAC	42435	18	6641	0	-	0
Ventilação e bombas não-AVAC	140846	61	22043	0	-	0
Total	232251	100	36348	271283	100	17336

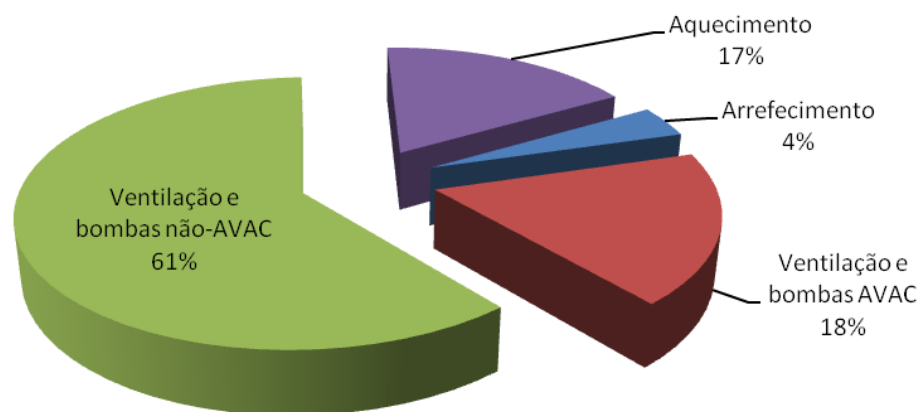


Figura 39 – Desagregação dos consumos energéticos referentes ao AVAC – Eletricidade

Estima-se, então, que a ventilação e bombas não afetas à climatização representam cerca de 61%, enquanto que ventilação e bombas afetas à climatização tenham um consumo de 18% do total consumido para climatização. Os restantes 21% estão associados às necessidades de aquecimento e arrefecimento, sendo 17% e 4%, respetivamente.

Realiza-se novamente uma desagregação do consumo de energia primária, tendo em consideração os setores de atividade, cuja tabela seguinte apresenta os resultados dessa desagregação:

Tabela 32 – Desagregação de consumos energéticos por setor

Setor	Consumo eletricidade			Consumo gás natural		
	(kWh/ano)	(%)	(€)	(kWh/ano)	(%)	(€)
Piscina	155569	50	24347	568565	100	36333
Áreas Complementares	155743	50	24375	0	0	0
Total	311312	100	48722	568565	100	36333

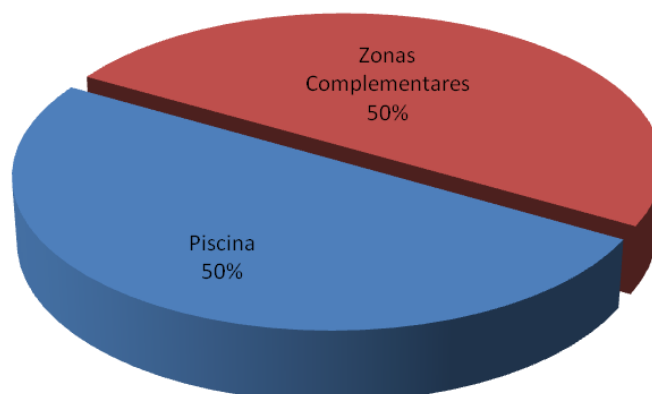


Figura 40 – Desagregação dos consumos energéticos por setor – Eletricidade

Ao contrário do primeiro caso de estudo, onde o consumo de eletricidade era na sua grande maioria feito nos espaços úteis, agora este consumo é praticamente semelhante nos dois tipos de espaços da instalação pelos motivos explicados anteriormente.

4. Indicadores de Eficiência Energética

Os IEE são os índices que qualificam o desempenho energético de um edifício, sendo determinados com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para a energia primária por unidade de área interior útil de pavimento [17], tendo por base a seguinte equação:

Equação 6 – Equação de cálculo do IEE

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

Onde:

IEE_S – representa os consumos de energia considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, e obtém-se da seguinte forma:

Equação 7 – Equação de cálculo do IEE_S

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

Em que:

$E_{S,i}$ - Consumo de energia por fonte de energia i, para os usos do tipo S [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$].

IEE_T – representa os consumos de energia não considerados para efeito de cálculo de classificação energética do edifício, e obtém-se da seguinte forma:

Equação 8 – Equação de cálculo do IEE_T

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

Em que:

$E_{T,i}$ - Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$].

A tabela seguinte representa os consumos de energia que deverão ser considerados para distinção do cálculo dos IEE_s e IEE_T.

Tabela 33 – Consumos de Energia a considerar no IEE_s e no IEE_T [17]

Consumos no IEE _s	Consumos no IEE _T
- aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação	- ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
- ventilação e bombagem em sistemas de climatização	- equipamentos de frio
- aquecimento de águas sanitárias e piscinas	- iluminação dedicada e de utilização pontual
- iluminação interior	- elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (até 31/12/2015)
- elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (a partir de 2016)	- restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEE _s

IEE_{ren} – representa a produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes renováveis, sendo que apenas se considera a energia elétrica para autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada no edifício:

Equação 9 – Equação de cálculo do IEE_{ren}

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

em que:

$E_{ren,i}$ - Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

A classificação energética baseia-se nos consumos obtidos através do funcionamento do edifício em condições reais previstas, comparando-os com os consumos de referência.

4.1 Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética Previsto e de Referência

O IEE_{pr} traduz o consumo anual de energia do edifício com base na localização do mesmo, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício [17]. Obtém-se através da seguinte equação:

Equação 10 – Equação de cálculo do IEE_{pr}

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,ren} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$$

Por sua vez, o IEE_{ref} traduz o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do edifício. Na determinação deste índice não são contabilizadas as produções de energia a partir de fontes renováveis, pelo que a expressão geral inclui apenas duas parcelas:

Equação 11 – Equação de cálculo do IEE_{ref}

$$IEE_{ref} = IEE_{ref,S} + IEE_{ref,T} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$$

Para a determinação dos IEE_{pr} e IEE_{ref} utilizou-se, novamente, o *software* HAP.

No modelo de simulação dinâmica consideraram-se várias zonas térmicas tendo em conta os seguintes critérios: orientação das envolventes, cargas internas, tipo de atividade, perfis de utilização e sistemas de climatização, sendo que cada zona térmica simulada de forma autónoma.

Nas situações em que um ou mais sistemas técnicos do edifício não se encontravam especificados em projeto, ou não estão instalados no edifício, foram consideradas as características e soluções apresentadas na Tabela I.07 da Portaria n.º349-D/2013[17], mantendo-se as restantes características dos sistemas instalados ou especificados em projeto.

4.1.1 Determinação do IEE_{pr}

Para a determinação do IEE_{pr} consideraram-se as características reais de funcionamento do edifício assim como as seguintes condições [17]:

- Consideraram-se os dados climáticos referentes à zona geográfica onde se insere o edifício, disponibilizados pela entidade gestora do SCE;
- Consideraram-se os dispositivos de sombreamento móvel do edifício e que os mesmos se encontram ativos em 60% da área;
- Consideraram-se os horários reais para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos, para cada zona térmica do edifício;
- Considerou-se uma temperatura interior compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, inclusive;

- No caso de espaços ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, considerou-se o valor de caudal de ar novo correspondente ao valor de caudal mínimo determinado pelo método prescritivo, sem ter em consideração a eficácia de ventilação;
- Consideraram-se as pontes térmicas lineares através da majoração global em 5%, das necessidades de aquecimento do edifício;
- Consideraram-se as pontes térmicas planas mediante uma majoração, em 35%, do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício;
- Nos sistemas de climatização, consideraram-se os caudais de ar novo efetivamente introduzidos nos espaços (tendo em conta a eficácia de ventilação) e as características dos equipamentos previstos ou instalados;
- Os sistemas de climatização eram controlados para ligar e desligar em função das cargas térmicas do edifício e um horário de funcionamento igual ao período de ocupação do edifício, podendo o horário diário de arranque e paragem do sistema ser diferente do horário de ocupação, desde que tal permita otimizar a eficiência da instalação;
- Os horários dos ventiladores de ar novo incluídos no sistema de climatização devem refletir um funcionamento contínuo sempre que os espaços estão ocupados, bem como um funcionamento permanente quando os espaços tenham requisitos de ventilação.

No anexo 9.17, encontra-se a apresentação dos principais parâmetros considerados para a construção dos modelos de simulação para determinação do IEE_{pr} .

Em seguida são apresentadas as principais conclusões das simulações previstas realizadas para ambos os casos de estudo.

4.1.1.1 Piscina Municipal de Alcochete

Aplicando as características referidas anteriormente ao modelo de simulação e introduzindo as alterações necessárias no HAP obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 34 – Desagregação de consumos energéticos previstos por utilização

Setor	Consumo eletricidade		Consumo gás natural	
	(kWh/ano)	(%)	(kWh/ano)	(%)
Iluminação	20540	17,94	0	-
Equipamentos	28016	24,46	0	-
Sistemas AVAC	44108	38,52	31941	10,89
AQS	2533	2,21	261312	89,11

Setor	Consumo eletricidade		Consumo gás natural	
	(kWh/ano)	(%)	(kWh/ano)	(%)
Sistemas não-AVAC	19322	16,87	0	-
Total (sem contribuição de energias renováveis)	114519	100,00	293253	100,00
Energias renováveis	0	-	79289	21,28
Total (com contribuição de energias renováveis)	114519	100,00	372542	100,00

Para a determinação do IEE_{pr} , os consumos anuais de energia final do edifício são convertidos em consumos anuais de energia primária a partir dos seguintes fatores de conversão [19]:

Tabela 35 – Fatores de Conversão

Fonte de Energia	Fatores de Conversão (kWh _{EP} /kWh)
Elettricidade (Renovável ou não-renovável)	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1

Com isto, tornou-se possível determinar os valores de IEE_{pr} para os consumos de energia do tipo S e tipo T e o referente à produção de energia de origem renovável com base nas equações descritas no início deste capítulo.

Tabela 36 – Determinação do $IEE_{pr,S}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Aquecimento e Arrefecimento	10895,0	31941,0
Ventilação e bombas AVAC	33213,0	0,0
AQS	2533,4	261312,4
Iluminação Interior	20539,6	0,0
Total (kWh/ano)	67181,0	293253,4
Total (kWh_{EP}/ano)	167952,6	293253,4
$IEE_{pr,S}$ (kWh_{EP}/(m².ano))	473,8	

Tabela 37 – Determinação do $IEE_{pr,T}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Ventilação e bombas não-AVAC	19322,2	0,0
Outra Iluminação (Pontual e Exterior)	0,0	0,0
Outros Equipamentos	28015,6	0,0
Total (kWh/ano)	47337,8	0,0
Total (kWh_{ep}/ano)	118344,5	0,0
$IEE_{pr,T}$ (kWh_{EP}/(m².ano))	121,6	

Tabela 38 – Determinação do $IEE_{pr,ren}$

Setor	Produção
	(kWh/ano)
Solar Térmico	79289,0
Total (kWh/ano)	79289,0
Total (kWh_{ep}/ano)	79289,0
$IEE_{pr,ren}$ (kWh_{EP}/(m².ano))	81,4

Por fim, após a determinação destes três valores, calculou-se o valor final do IEE_{pr} , estando todos eles discriminados na seguinte tabela:

Tabela 39 – Determinação do IEE_{pr}

IEE_{pr}	kWh _{EP} /(m ² .ano)
$IEE_{pr,S}$	473,8
$IEE_{pr,T}$	121,6
$IEE_{pr,ren}$	81,4
IEE_{pr}	513,9

4.1.1.2 Piscina Municipal de Alhos Vedros

Para o segundo caso de estudo, efetuou-se o mesmo procedimento e os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 40 – Desagregação de consumos energéticos previstos por utilização

Setor	Consumo eletricidade		Consumo gás natural	
	(kWh/ano)	(%)	(kWh/ano)	(%)
Iluminação	37654	11,90	0	-
Equipamentos	37309	11,79	0	-
Sistemas AVAC	93816	29,64	69814	19,02
AQS	5892	1,86	297282	80,98
Sistemas não-AVAC	140846	44,50	0	-
Elevadores e Tapetes Rolantes	990	0,31	0	-
Total	316507	100,00	367096	100,00

Fazendo uso dos mesmos fatores de conversão, presentes na Tabela 35, determinaram-se os valores finais do $IEE_{pr,S}$ e do $IEE_{pr,T}$:

Tabela 41 – Determinação do $IEE_{pr,S}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Aquecimento e Arrefecimento	43161,0	69814,0
Ventilação e bombas AVAC	50655,0	0,0
AQS	5891,6	297282,5
Iluminação Interior	27825,4	0,0
Total (kWh/ano)	127533,0	367096,5
Total (kWh_{ep}/ano)	318832,6	367096,5
$IEE_{pr,S}$ (kWh_{EP}/(m².ano))	421,5	

Tabela 42 – Determinação do $IEE_{pr,T}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Ventilação e bombas não-AVAC	140846,1	0,0
Outra Iluminação (Pontual e Exterior)	9828,7	0,0
Elevadores e Tapetes Rolantes	990,0	0,0
Outros Equipamentos	37309,4	0,0
Total (kWh/ano)	188974,2	0,0
Total (kWh_{EP}/ano)	472435,6	0,0
$IEE_{pr,T}$ (kWh_{EP}/(m².ano))	290,3	

Dado que não existem quaisquer tipos de sistemas energéticos de origem renovável, o valor do $IEE_{pr,ren}$ será nulo. Sendo assim, obtém-se o valor final do IEE_{pr} somando os dois primeiros.

Tabela 43 – Determinação do IEE_{pr}

IEE_{pr}	kWh _{EP} /(m ² .ano)
$IEE_{pr,S}$	421,5
$IEE_{pr,T}$	290,3
$IEE_{pr,ren}$	0,0
IEE_{pr}	711,8

4.1.2 Determinação do IEE_{ref}

Para a determinação do IEE_{ref} consideraram-se as características reais de funcionamento do edifício, assim como as seguintes condições, sendo que todas as restantes características e soluções do edifício não especificadas devem ser iguais às utilizadas na determinação do IEE_{pr} [17]:

- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de envidraçados constantes na Tabela I.09 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Área dos vãos envidraçados igual a 30% da área da fachada e 0% nas coberturas;
- Fator solar dos vãos envidraçados de referência constantes da Tabela I.10 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Coeficiente de absorção da radiação solar da envolvente opaca (α) igual a 0,4;
- Para a produção de arrefecimento ou aquecimento com recurso a bomba de calor, considerou-se sendo uma bomba de calor do tipo *chiller* de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Para a produção de arrefecimento ou aquecimento com recurso a unidades do tipo *rooftop*, considerou-se *rooftop* com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Para a produção de arrefecimento ou aquecimento com recurso a unidades *split*, *multisplit*, VRF, com permuta a ar-ar, considerou-se o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Para zonas sem climatização, considerou-se para a produção de arrefecimento ou aquecimento, bomba de calor do tipo *chiller* de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 da Portaria n.º 349-D/2013;
- Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização;
- Para a ventilação consideraram-se os valores de caudal de ar novo por espaço, determinados pelo método prescritivo (explicado no subcapítulo seguinte) e utilização de um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8;
- Para os ventiladores de extração e insuflação associados às áreas climatizadas e as unidades de tratamento de ar novo, consideraram-se os valores de eficiência iguais ao limite inferior (mais

eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.21 da Portaria n.º 349-D/2013;

- No caso de espaços com a existência predominante (mais de 75%) de materiais de baixa emissão poluente, o caudal de referência corresponde à situação do edifício sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos;
- Para a produção de águas quentes com recurso a termoacumuladores elétricos, considerou-se um valor de eficiência igual a 0,95;
- Ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na AQS;
- Para a iluminação considerou-se uma densidade de potência definida pela Tabela I.28 da Portaria n.º 349-D/2013, sem sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural ou outras soluções de eficiência energética na iluminação;
- Ausência de sistemas de energias renováveis instalados.

No anexo 9.18, encontra-se a apresentação dos principais parâmetros considerados para a construção dos modelos de simulação para determinação do IEE_{ref} .

4.1.2.1 Determinação do caudal de ar novo

A determinação do caudal de ar novo, através do método prescritivo, tem como base o número de ocupantes do espaço e o tipo de atividade física desenvolvida, bem como o próprio edifício e o tipo de materiais utilizados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário [18].

Utilizando este método, o valor de caudal mínimo de ar novo a considerar será aquele que for o maior valor entre os dois que forem determinados para os tipos de carga poluente acima referidos e para o espaço em causa.

O caudal de ar novo, com base na ocupação é calculado a partir da seguinte expressão:

Equação 12 – Equação de cálculo do Q_{AN}

$$Q_{AN} = M_{med} \times Q_{AN,1met} \quad [m^3/(h.pessoa)]$$

Em que:

M_{Med} – Taxa média de metabolismo dos ocupantes [met];

$Q_{AN,1met}$ – Valor indicado na Tabela I.04 da Portaria n.º 353-A/2013[18], para o caudal mínimo de ar novo para o nível de atividade metabólica igual a 1 [$m^3/(h.pessoa)$];

O caudal de ar novo a considerar devido ao próprio edifício e o tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário, é estabelecido na seguinte tabela.

Tabela 44 – Caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devido a materiais do edifício[18]

Setor	Caudal de ar novo [m ³ /(h.pessoa)]
Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	5

Em espaços sem ocupação permanente, designadamente corredores, balneários, instalações sanitárias, arrumos, armazéns, refeitórios ou espaços que são ocupados ocasionalmente e por períodos temporais inferiores a duas horas por dia, ou, em espaços técnicos não é aplicado o requisito do caudal mínimo de ar novo.

4.1.2.2 Piscina Municipal de Alcochete

Seguindo as novas condições, fazendo os cálculos necessários e alterando os dados de *input* no modelo de simulação chegou-se aos seguintes resultados da desagregação de consumos:

Tabela 45 – Desagregação de consumos energéticos de referência por utilização

Setor	Consumo eletricidade		Consumo gás natural	
	(kWh/ano)	(%)	(kWh/ano)	(%)
Iluminação	21799	14,22	0	-
Equipamentos	28016	18,27	0	-
Sistemas AVAC	81635	53,25	4745	1,85
AQS	2533	1,65	251316	98,15
Sistemas não-AVAC	19322	12,60	0	-
Total	153305	100,00	256061	100,00

Utilizando, novamente, as equações presentes no início deste capítulo e ainda os fatores de conversão já referidos, calculou-se o valor do IEE_{ref} .

Tabela 46 – Determinação do $IEE_{ref,S}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Aquecimento e Arrefecimento	32910,0	4745,1
Ventilação e bombas AVAC	48725,0	0,0
AQS	2533,4	251315,7
Iluminação Interior	21798,8	0,0
Total (kWh/ano)	105967,2	256060,8
Total (kWh_{ep}/ano)	264918,1	256060,8
$IEE_{ref,S}$ (kWh_{EP}/m².ano)	535,2	

Tabela 47 – Determinação do $IEE_{ref,T}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Ventilação e bombas não-AVAC	19322,2	0,0
Outra Iluminação (Pontual e Exterior)	0,0	0,0
Outros Equipamentos	28015,6	0,0
Total (kWh/ano)	47337,8	0,0
Total (kWh_{ep}/ano)	118344,5	0,0
$IEE_{ref,T}$ (kWh_{EP}/m².ano)	121,6	

Tabela 48 – Determinação do IEE_{ref}

IEE_{pr}	kWh_{EP}/m².ano
$IEE_{ref,S}$	535,2
$IEE_{ref,T}$	121,6
IEE_{ref}	656,7

Como seria de esperar, o valor de IEE_{ref} é superior ao do IEE_{pr} , principalmente devido a um consumo elétrico no setor dos sistemas AVAC ser muito superior, dado que toma em consideração sistemas técnicos de referência de consumos elétricos mais elevados, e passam a existir não só nas zonas que já

dispunham de sistemas deste tipo mas igualmente nas zonas em que não existia qualquer tipo de climatização.

4.1.2.3 Piscina Municipal de Alhos Vedros

Aplicando as mesmas alterações para o segundo caso de estudo, os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 49 – Desagregação de consumos energéticos de referência por utilização

Setor	Consumo eletricidade		Consumo gás natural	
	(kWh/ano)	(%)	(kWh/ano)	(%)
Iluminação	40874	8,83	0	-
Equipamentos	37309	8,06	0	-
Sistemas AVAC	237070	51,22	2099	0,66
AQS	5729	1,24	314252	99,34
Sistemas não-AVAC	140846	30,43	0	-
Elevadores e Tapetes Rolantes	990	0,21	0	-
Total	462818	100,00	316351	100,00

Em seguida, determinou-se o valor do IEE_{ref} da mesma maneira que no caso anterior, onde também se conclui que é superior ao respetivo valor do IEE_{pr} .

Tabela 50 – Determinação do $IEE_{ref,S}$

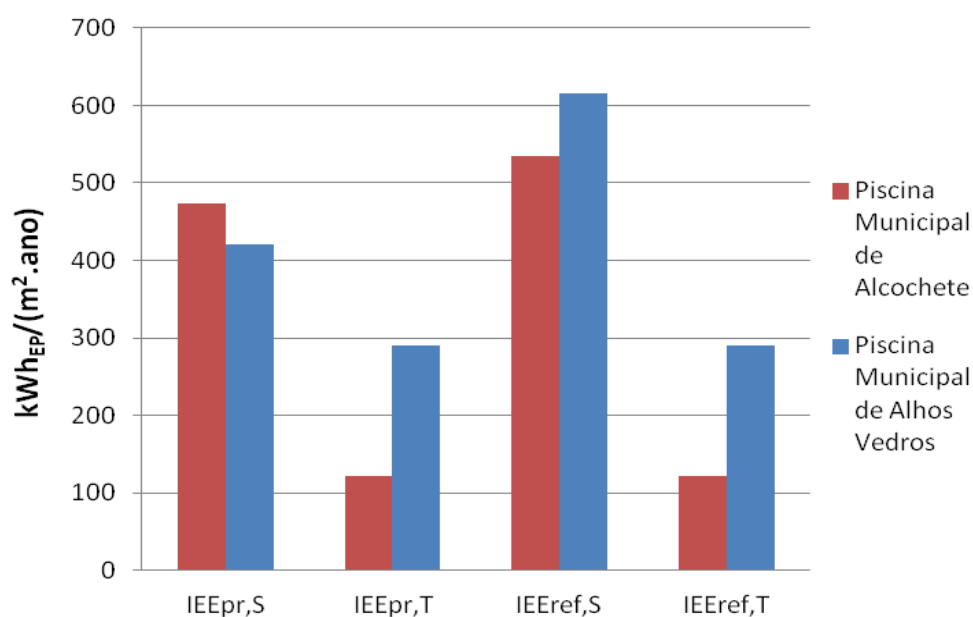
Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Aquecimento e Arrefecimento	110123,0	2099,0
Ventilação e bombas AVAC	126947,0	0,0
AQS	5728,8	314252,1
Iluminação Interior	31044,9	0,0
Total (kWh/ano)	273843,7	316351,1
Total (kWh_{ep}/ano)	684609,2	316351,1
$IEE_{ref,S}$ (kWh_{EP}/m².ano)	615,1	

Tabela 51 – Determinação do $IEE_{ref,T}$

Setor	Consumo eletricidade	Consumo gás natural
	(kWh/ano)	(kWh/ano)
Ventilação e Bombas não-AVAC	140846,1	0,0
Outra Iluminação (Pontual e Exterior)	9828,7	0,0
Elevadores e Tapetes Rolantes	990,0	0,0
Outros Equipamentos	37309,4	0,0
Total (kWh/ano)	188974,2	0,0
Total (kWh_{EP}/ano)	472435,6	0,0
$IEE_{ref,T}$ (kWh_{EP}/m².ano)	290,3	

Tabela 52 – Determinação do IEE_{ref}

IEE_{pr}	kWh _{EP} /m ² .ano
$IEE_{ref,S}$	615,1
$IEE_{ref,T}$	290,3
IEE_{ref}	905,4

Figura 41 – Comparação dos IEE_{pr} e IEE_{ref} por tipo de uso

5. Cálculo da Classe Energética do Edifício

A atribuição da classe energética de um edifício de serviços irá basear-se no rácio de classe energética (R_{IEE}) determinado pela seguinte expressão, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013[20]:

Equação 13 – Equação de cálculo do rácio de classe energética

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}}$$

em que:

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de Eficiência Energético Previsto, S;

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de Eficiência Energético Previsto, renováveis;

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de Eficiência Energético de Referência, S;

A classe energética do edifício será definida pelo intervalo de oito classes, na qual se insere o rácio de classe energética.

Tabela 53 – Definição da classe energética em função do R_{IEE} [20]

Classe	Valor de R_{IEE}
A+	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

Em ambos os casos de estudo, o valor de R_{IEE} situa-se dentro do intervalo correspondente à classe **B**, sendo mais precisamente igual a **0,73**, para a Piscina Municipal de Alcochete, e **0,69**, para a Piscina Municipal de Alhos Vedros.

6. Medidas de Utilização Racional de Energia

Por Utilização Racional de Energia (URE) entende-se o conjunto de ações e medidas cujo objetivo passa por otimizar a utilização da energia, isto é, minimizar o consumo energético mantendo a qualidade e maximizando o aproveitamento, através da inovação nos processos e nos produtos.

A URE é, por isso, cada vez mais um fator a considerar na economia energética e redução de custos, no setor de serviços e comércio.

Tendo em conta uma série de recomendações úteis, é possível reduzir os consumos energéticos mantendo o conforto e a produtividade das atividades dependentes de energia.

Um dos objetivos da avaliação energética é a identificação e análise da viabilidade técnica e económica de medidas de melhoria passíveis de implementar nas instalações, incluindo a estimativa de custos e de poupança anual de energia e respetiva redução energética. E, com estes dados, torna-se possível obter o Período de Retorno Simples (PRS), que se determina da seguinte forma:

Equação 14 – Equação de cálculo do PRS

$$PRS = \frac{C}{P} \text{ (anos)}$$

em que:

C – representa a totalidade dos custos de investimento (€);

P – corresponde à poupança anual devido à aplicação da medida em estudo, determinada através da simulação anual do funcionamento do edifício (€);

Sendo que se assume os custos de energia constantes e iguais ao momento de investimento e, por outro lado, não se consideram os efeitos da inflação, foram assumidos os seguintes pressupostos no estudo das medidas de melhoria a implementar nas Piscinas Municipais de Alcochete e Alhos Vedros:

- Custo do kWh (eletricidade) – 0,135 € e 0,157 €, respetivamente;
- Custo do kWh (Gás Natural) – 0,064 €, em ambos os casos de estudo;
- Preço de tabelas para materiais, equipamentos e mão-de-obra

A realização da avaliação energética permitiu identificar várias medidas de utilização racional de energia, que se descrevem de seguida.

6.1 Substituição de lâmpadas

A primeira das medidas propostas foi a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares tipo T8 existentes por lâmpadas do tipo *LED* equivalentes, com o mesmo formato. O mesmo se sugeriu para as lâmpadas iodetos metálicos.

As lâmpadas *LED* têm uma vida útil de, aproximadamente, 50 000h e permitem uma poupança imediata na fatura da iluminação até 75%. Além disto, este tipo de lâmpadas, como não emitem raios infravermelhos também não geram calor, logo a sua superfície fica a uma temperatura ambiente não influenciando a climatização dos espaços onde se encontrem.



Figura 42 – Exemplo de lâmpada *LED* de formato tubular

Tabela 54 – Comparação das características das lâmpadas T8 e iodetos metálicos com lâmpadas *LED* [22]

Potência (W)			
Atual	Proposta	Atual	Proposta
T8	LED	IM	LED
18	10	125	50
36	20	250	100
58	25	400	150

Aplicando estas mudanças da potência total da iluminação por zona dentro do *software* HAP, efetua-se uma nova simulação para se conhecerem as alterações ao nível dos consumos energéticos resultantes desta medida

6.2 Implementação de cobertura térmica

Sugeriu-se também a implementação de uma cobertura térmica para cada piscina de forma a reduzir o consumo energético, neste caso de gás natural, para o seu aquecimento.

Uma cobertura térmica mantém a temperatura da água da piscina elevada durante mais tempo e evita, ainda, perda de água por evaporação.

Mais uma vez, para o cálculo dos consumos energéticos anuais de AQS recorreu-se ao *software Solterm 5.1.3*, onde apenas se marcaram as caixas correspondentes à cobertura colocada nas horas em que a piscina não se encontra em funcionamento.

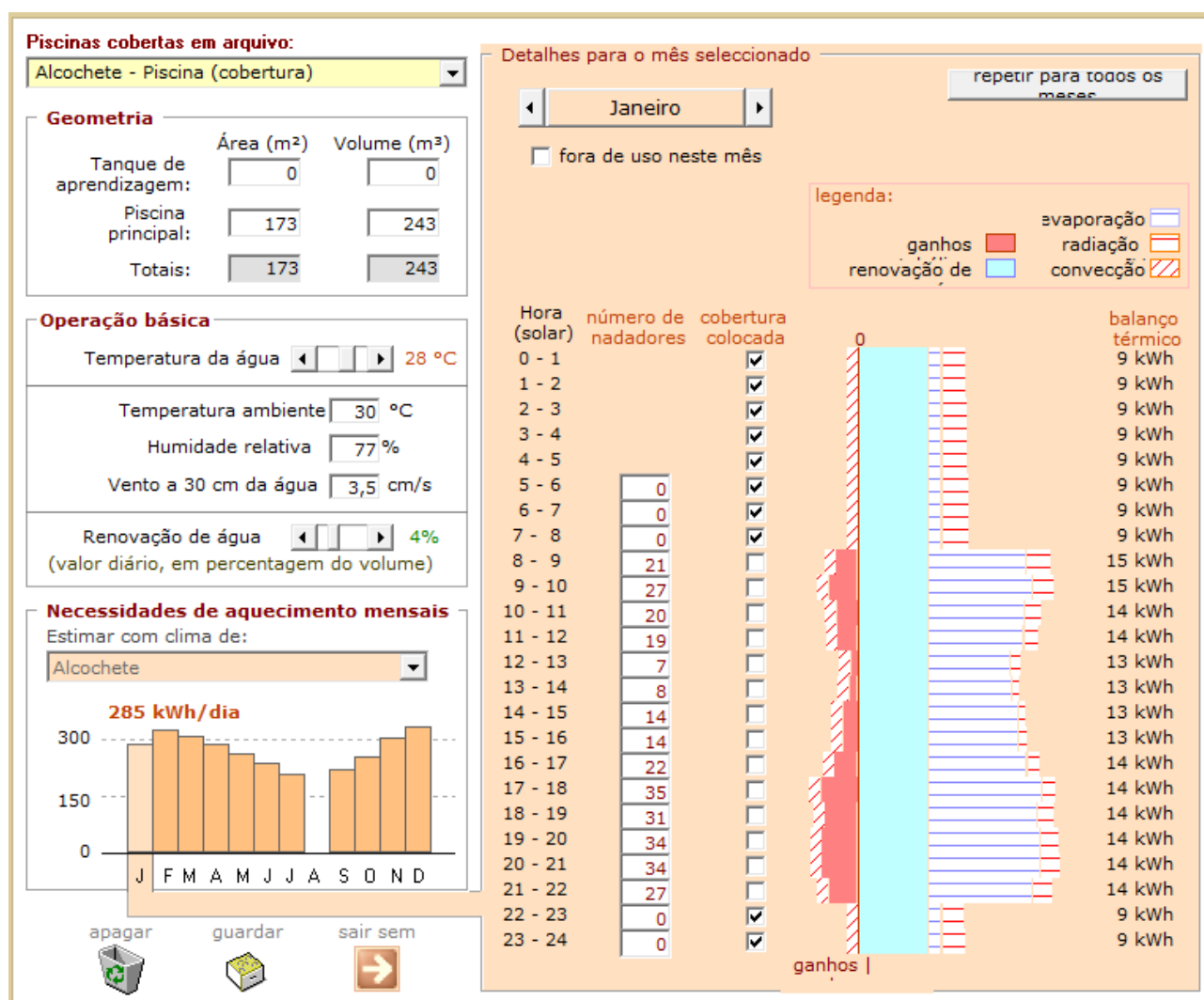


Figura 43 – Exemplo do procedimento efetuado para a implementação da cobertura térmica

Com esta alteração, é possível confirmar de imediato pelo *software* que as perdas por evaporação diminuem consideravelmente nessas mesmas horas, e, por isso, as necessidades de AQS na zona da piscina irão ser naturalmente inferiores.



Figura 44 – Cobertura térmica numa piscina

6.3 Substituição de bombas de calor desumidificadoras

Outra sugestão passou pela troca das bombas de calor desumidificadoras existentes por equipamentos do tipo bomba de calor, de duplo fluxo com recuperador de tubos de calor. Estas unidades compactas para tratamento de ar da piscina asseguram as funções de desumidificação, ventilação, aquecimento e arrefecimento da nave da piscina.

Estas novas unidades têm reversibilidade no circuito frigorífico, permitindo-lhes fazer arrefecimento do ar para a nave da piscina e respetiva climatização.

Os modos de funcionamento podem ser a desumidificação por sistema economizador, desumidificação com recuperação total do calor ao ar em recirculação e, ainda, desumidificação com recuperação total do calor à água da piscina.

O controlo desta unidade é feito através de um microprocessador instalado no quadro elétrico, garantindo uma total gestão com a finalidade de uma economia energética.

Como referência, consideraram-se seguintes unidades da marca THERECO (CLIMATEAM), cujos parâmetros a inserir no HAP, para uma nova simulação, estão referenciados na tabela abaixo:

Tabela 55 - Parâmetros necessários a considerar para nova simulação

Parâmetro	PCP DF 22 RF 15000	PCP DF 24 RF 23000
	(Piscina Municipal de Alcochete)	(Piscina Municipal de Alhos Vedros)
Humidade Relativa máxima (%)	60	60
Pot. de arrefecimento (kW)	57,3	69,0
Pot. Absorvida - motor VI (kW)	5,4	8,1
Pot. Absorvida - motor VE (kW)	3,7	4,3

Ao fazer estas alterações, para o sistema que trata da climatização da zona da nave, dentro do *software* HAP, torna-se possível determinar os consumos energéticos inerentes a esta mudança de equipamentos, através da simulação dinâmica.

6.4 Implementação de um sistema solar térmico - Piscina Municipal de Alhos Vedros

De forma a aproveitar o espaço desocupado na cobertura das instalações da Piscina Municipal de Alhos Vedros, considerou-se sugerir um sistema solar para produção de energia. Tendo em conta que o consumo de gás natural é muito superior ao de eletricidade e, sabendo ainda, que tipicamente um

sistema solar térmico tem um PRS inferior ao de um sistema fotovoltaico, optou-se por sugerir um conjunto de coletores térmicos *Sonnenkraft SKR500* [24]:

Tabela 56 - Caraterísticas dos coletores sugeridos

Coletores Solares	
Área individual (m ²)	2,26
Quantidade	50
Área total (m ²)	113,0
Rendimento ótico	0,82

Para determinar a energia fornecida por este sistema solar térmico, utilizou-se novamente o *software Solterm*.

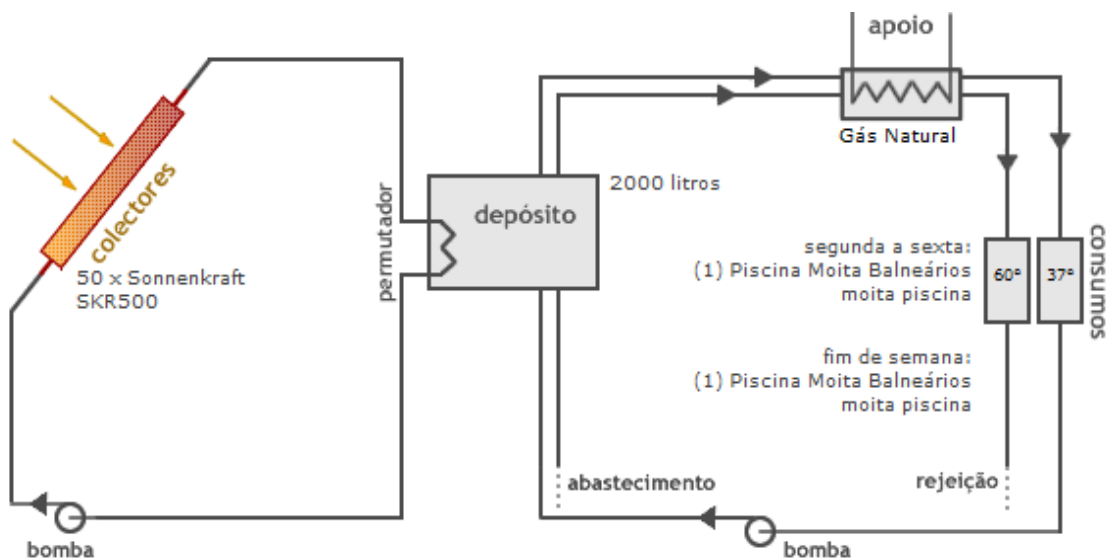


Figura 45 - Caraterização do sistema térmico

Dado que o sistema sugerido não conseguiria suprir as necessidades de AQS por inteiro, mantêm-se as três caldeiras, a gás natural, como sistema auxiliar. Os depósitos considerados permanecem os mesmos já existentes nas instalações.

Fazendo a simulação, com os mesmos consumo de AQS iniciais, percebe-se que iria haver uma poupança de 100 154 kWh/ano de gás natural, uma vez que essa seria a contribuição anual deste sistema térmico sugerido.

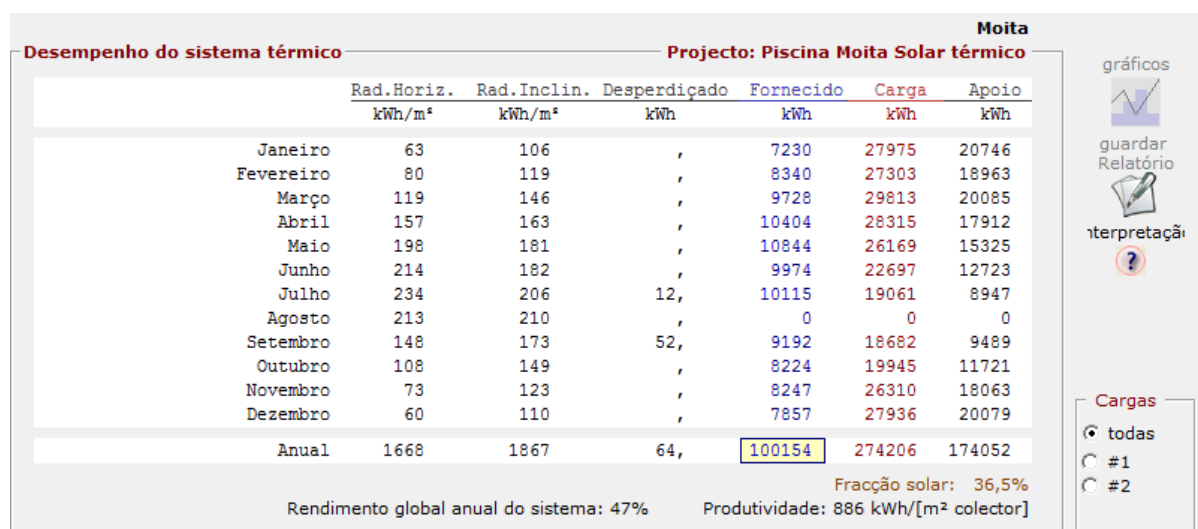


Figura 46 - Análise energética do sistema solar térmico

6.5 Implementação e análise de resultados

A implementação de cada medida proposta, leva a uma alteração do comportamento térmico do edifício, gerando reduções no consumo energético, e consequentemente, a poupanças em energia primária.

Para uma avaliação final, considerou-se a implementação simultânea de todas as medidas de melhoria, de modo a compreender quais seriam as suas implicações na eficiência energética de cada um dos edifícios.

6.5.1 Piscina Municipal de Alcochete

Os resultados de cada uma das medidas sugeridas, e o seu total, encontram-se na seguinte tabela:

Tabela 57 – Resumo da implementação de medidas para a eficiência energética

Cenário	Consumo Energético Global com URE		Poupança energética			Investimento (€)	PRS (anos)
	Eletricidade (kWh/ano)	Gás Natural (kWh/ano)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás Natural (kWh/ano)	Valor (€/ano)		
Iluminação	105327	413306	10867	-5377	1127,0	4610	4,1
Coberturas Térmicas	116195	353537	0	54392	3475,7	13975	4,0
Desumidificadores	118107	312187	-1912	95742	5859,0	82500	14,0
Total	339629	1079031	8955	144757	10652	101085	9,5

Investimento (€): Considerando um total de 158 lâmpadas: 18 LED de 10 W (15,00€/un), 72 LED de 20 W (25,00€/un), 66 LED de 25 W (30,00€/un) e 2 LED de 100 W (280,00€/un).

Pela tabela anterior, percebe-se que implementando a medida da iluminação do tipo LED há um maior consumo de gás natural associado. Isto deve-se ao fato de este tipo de lâmpadas libertarem menos calor sensível, daí ser necessário compensar esta perda com uso de gás natural para efeitos de climatização. Contudo, a poupança de eletricidade que advém deste tipo de iluminação tem um peso bem mais significativo comparativamente ao aumento de consumo do gás natural, pelo que se mantém uma medida benéfica de eficiência energética.

A instalação da cobertura térmica resulta numa poupança considerável de gás natural, como esperado. Já o equipamento sugerido para substituir a bomba de calor desumidificadora atual tem, em comparação, um maior consumo de eletricidade, mas permite poupar mais de 95 000 kWh/ano de gás natural, o que torna esta medida bastante proveitosa mesmo sendo a que necessita de um maior investimento.

A redução anual da fatura energética, associada à implementação de todas as medidas identificadas, é de 8 955 kWh de eletricidade e de 144 757 kWh de gás natural, o que no total corresponde, aproximadamente, a uma minimização de 10 % do consumo global energético atual. Em termos monetários, a Piscina Municipal de Alcochete iria poupar cerca de 10 652 €/ano com estas três medidas de eficiência energética.

O custo estimado de investimento total seria de 101 085 €, o que faz com que o período de retorno seja estimado em 9,5 anos.

Tabela 58 – IEE_{pr} , após as medidas URE

IEE_{pr}	kWh _{EP} /m ² .ano
$IEE_{pr,S}$	372,8
$IEE_{pr,T}$	123,1
$IEE_{pr,REN}$	81,4
IEE_{pr}	414,5

Após a implementação das medidas de eficiência energética, o R_{IEE} teria um valor de 0,54, ou seja, a classificação energética global do edifício em estudo ainda pertenceria à classe energética B.

6.5.2 Piscina Municipal de Alhos Vedros

Os resultados de cada uma das medidas sugeridas, e o seu total, encontram-se na seguinte tabela:

Tabela 59 – Resumo da implementação de medidas para a eficiência energética

Cenário	Consumo Energético Global com URE		Poupança energética			Investimento (€)	PRS (anos)
	Eletricidade (kWh/ano)	Gás Natural (kWh/ano)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás Natural (kWh/ano)	Valor (€/ano)		
Sistema Solar Térmico	311312,3	460275	0	100154	6400,1	43165,0	6,7
Iluminação	304055	573315	7257	-4750	832,3	8215	9,9
Coberturas Térmicas	311312	533143	0	35423	2263,6	14250	6,3
Desumidificadores	318448	455714	-4758	112851	6875,1	86400,0	12,6
Total	1240141	2030584	5108	243678	16263,0	152030,0	9,3

Investimento (€): Considerando um total de 150 lâmpadas: 8 LED de 10 W (15,00€/un), 97 LED de 20 W (25,00€/un), 29 LED de 25 W (30,00€/un) e 12 LED de 150 W (400,00€/un). Para o sistema solar térmico: considerou-se o custo dos painéis, estruturas de fixação e do controlador.

A redução anual da fatura energética, associada à implementação de todas as medidas identificadas, é de 5 108 kWh de eletricidade e de 243 678 kWh de gás natural, o que no total corresponde, aproximadamente, a uma minimização de 7,1 % do consumo global energético atual. Neste caso existe uma poupança de gás natural muito mais significativa devido à energia fornecida por parte dos cinquenta coletores solares térmico, sendo que no caso anterior as instalações já dispunham desta solução.

Em termos monetários, estas instalações iriam poupar cerca de 16 263 €/ano com estas quatro medidas de eficiência energética.

O custo estimado de investimento total seria de 152 030 €, o que faz com que o período de retorno seja estimado em 9,3 anos, um valor muito próximo ao do primeiro caso de estudo.

Tabela 60 – IEE_{pr} , após as medidas URE

IEE_{pr}	$kWh_{EP}/m^2.ano$
$IEE_{pr,S}$	313,8
$IEE_{pr,T}$	300,2
$IEE_{pr,REN}$	61,5
IEE_{pr}	552,4

Após a implementação destas quatro medidas de eficiência energética, o R_{IEE} teria um valor de 0,41, o que faria com que a classificação energética global do edifício passasse de B para A.

7. Conclusão

As duas instalações que foram alvo de estudo nesta dissertação apresentam uma localização praticamente idêntica, estando separadas somente por cerca de 20 km, daí encontrarem-se nas mesmas zonas climáticas de Verão e Inverno. Além disso, foram inauguradas com apenas um ano de intervalo, ambas têm dois pisos, servem o mesmo propósito e a tipologia dos seus espaços é semelhante. As principais diferenças residem numa maior área útil na Piscina Municipal de Alhos Vedros (quase o dobro, comparativamente) e num tanque de maiores dimensões, no entanto é na Piscina Municipal de Alcochete onde já existe um sistema solar térmico instalado, que foi possível estimar que contribui para suprir 17,8% das necessidades energéticas totais do edifício.

Em ambas as instalações foi possível perceber, aquando das auditorias, que existe uma certa sensibilização por parte dos funcionários relativamente a algumas medidas comportamentais que favorecem a eficiência energética dos espaços.

Contudo, e como foi perçível pela análise das faturas das instalações (Tabela 23 e Tabela 25) de ambos os casos de estudo, confirma-se que os edifícios desportivos são um tipo de edifícios com elevado consumo energético associado. Estes dois casos revelaram um consumo de gás natural bem superior ao de eletricidade, algo causado, maioritariamente, pelas necessidades de aquecimento das piscinas cobertas. Por sua vez, para a eletricidade, os consumos com maior expressão são os afetos aos sistemas AVAC e aos sistemas não-AVAC (ventiladores de extração na casa das máquinas, bombas de circulação e filtragem da piscina) para a Piscina Municipal de Alcochete e para a Piscina Municipal de Alhos Vedros, respetivamente. Estes dois tipos de consumo conseguem sobrepor-se à quota pertencente à iluminação e também equipamentos, que contudo não deixam de ser significativos.

Durante os meses de Verão nota-se um decréscimo acentuado no consumo de eletricidade e, principalmente, de gás natural, dado que além de incluir os meses em que as instalações de ambas as Piscinas encontram-se encerradas ao público, coincide com os meses de férias escolares e, como tal, deixa de existir grande parte da ocupação nas aulas de natação destinadas às crianças durante o seu período escolar.

Conseguiu-se obter um desvio de -1,2% e 0,5% (Tabela 24) para o consumo de eletricidade e gás natural, respetivamente, para o caso da Piscina Municipal de Alcochete, e + 4,0% e -1,2% (Tabela 26) para os consumos da Piscina Municipal de Alhos Vedros, o que garante uma devida calibração do modelo de simulação dinâmica e permitiu prosseguir o desenvolvimento do processo de certificação com alguma segurança.

Os resultados do processo de certificação mostraram que, para ambos os casos de estudo, se tratam de edifícios com uma classe energética B, tendo a Piscina Municipal de Alhos Vedros um R_{IEE} ligeiramente inferior (0,69 comparado a 0,73).

De forma a ir ao encontro do objetivo do projeto STEP-2-SPORT, propuseram-se algumas medidas de melhoria possíveis de aplicar aos dois edifícios que contribuíssem para a renovação energética dos mesmos: substituição da iluminação utilizada mais frequentemente por iluminação do tipo LED, implementação de coberturas térmicas para as piscinas, substituição das bombas de calor desumidificadoras por bombas de calor de duplo fluxo com recuperador de tubos de calor, e, também, a instalação de um sistema solar térmico para AQS no caso da Piscina Municipal de Alhos Vedros.

Estas medidas iriam trazer poupanças na ordem dos 10 e 7% do consumo global energético atual, o que se traduz numa poupança anual de 10 652 € e 16 263 €, tendo um PRS de 9,5 e 9,3 anos, respetivamente para a Piscina Municipal de Alcochete e para a Piscina Municipal de Alhos Vedros.

A aplicação, em simultâneo, de todas estas medidas sugeridas faria com que o primeiro caso de estudo diminuísse o seu R_{IEE} de 0,73 para 0,54, mantendo a classe energética B, e o segundo caso de estudo passasse a ter uma classe energética A, derivado da passagem do seu R_{IEE} 0,69 para 0,41.

Estes são valores muito satisfatórios, tendo em conta que, atualmente, dos edifícios desportivos certificados segundo o RECS existem somente até à classe B [25].

Sendo o objetivo maior do projeto STEP-2-SPORT incentivar uma renovação energética em vista a edifícios de necessidades energéticas quase nulas é possível aferir que essa realidade ainda se encontra algo distante, contudo esta não deixa de ser uma iniciativa bastante proveitosa, para as próprias instalações que reduzem a sua fatura anual energética e para os restantes edifícios desportivos que podem ver nestes dois casos de estudo um exemplo a seguir.

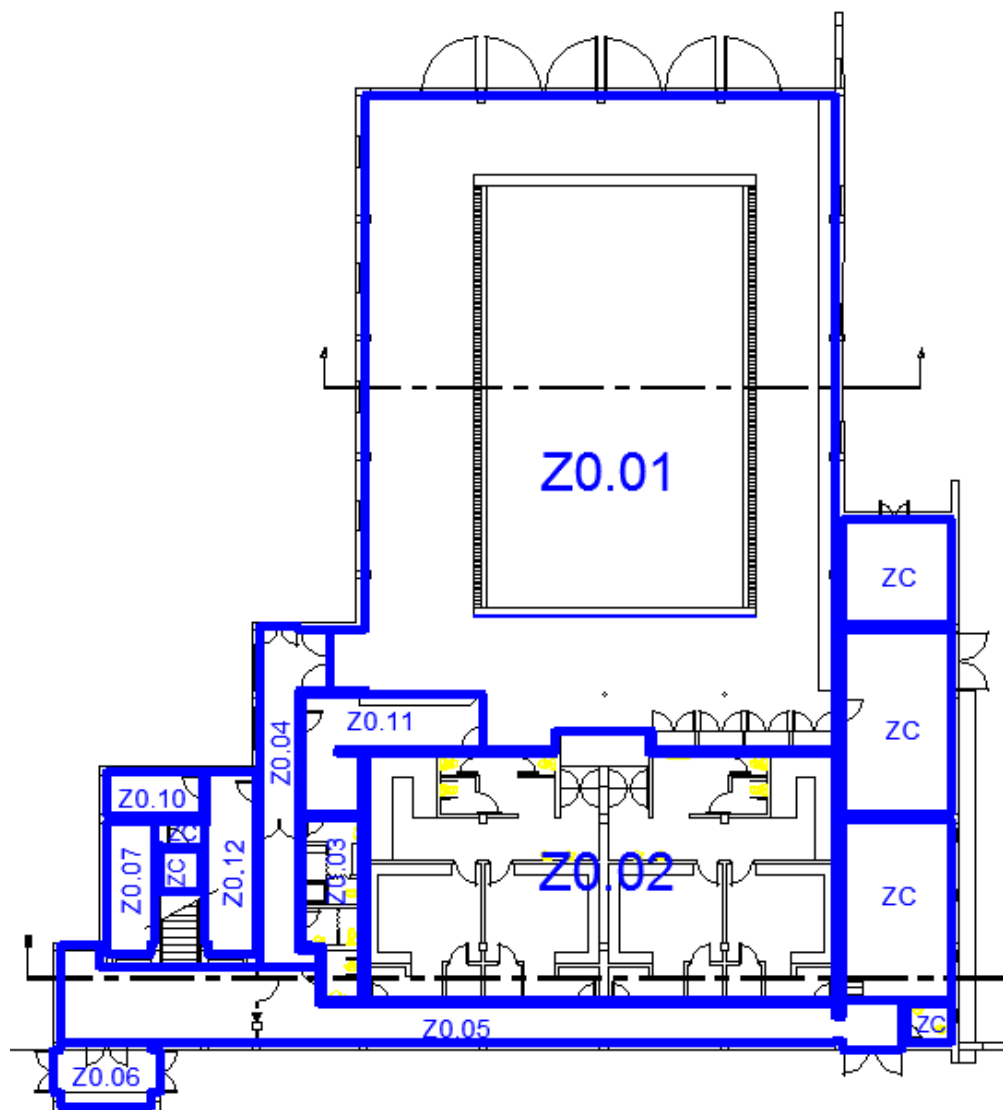
8. Referências

- [1] DGGE, “Energia em Portugal,” 2013.
- [2] DGGE, “Balanço Energético,” 2014.
- [3] J. Sousa, “O paradigma da eficiência energética dos edifícios,” *Climatização - Edifícios e Energia*, 2012.
- [4] STEP-2-SPORT, “Step by step renovation towards nearly zero energy SPORT Buildings.” 2014.
- [5] DGGE, “Guia da Eficiência Energética,” 2013.
- [6] ITeCons, “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS) - Síntese de Regulamentação Aplicável.” Coimbra, 2013.
- [7] C. A. P. Santos and L. Matias, “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.,” p. 170, 2009.
- [8] P. Libório, “Nova regulamentação do Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios (Decreto-Lei nº 118/2013),” 2014.
- [9] “Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013,” no. 26, pp. 26–31, 2013.
- [10] Dantherm, “Recuperação de calor com bombas de calor e desumidificação de piscinas.” .
- [11] Z. Zuo, “Annual Energy Consumption Analysis and Energy Optimization of a Solar-Assisted Heating Swimming Pool,” 2006.
- [12] *Norma Portuguesa 448*. 2007.
- [13] M. M. Shah, “Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces,” *ASHRAE Trans.*, vol. 120, no. 2, pp. 1–15, 2014.
- [14] “Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013,” no. 41, pp. 41–54, 2013.
- [15] DGGE, Ed., *Colectores Solares para Aquecimento de Água - Pavilhões Desportivos e Piscinas Colectores Solares para Aquecimento de Água*, 2ª ed. Lisboa, 2004.
- [16] R. Aguiar and R. E. Coelho, *Manual SolTerm*, Laboratóri. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2012.
- [17] “Portaria n.º 349-D/2013,” no. 40, pp. 40–73, 2013.
- [18] “Portaria n.º 353-A/2013,” no. 2, pp. 2–9, 2013.
- [19] “Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013,” no. 13, p. 35088, 2013.

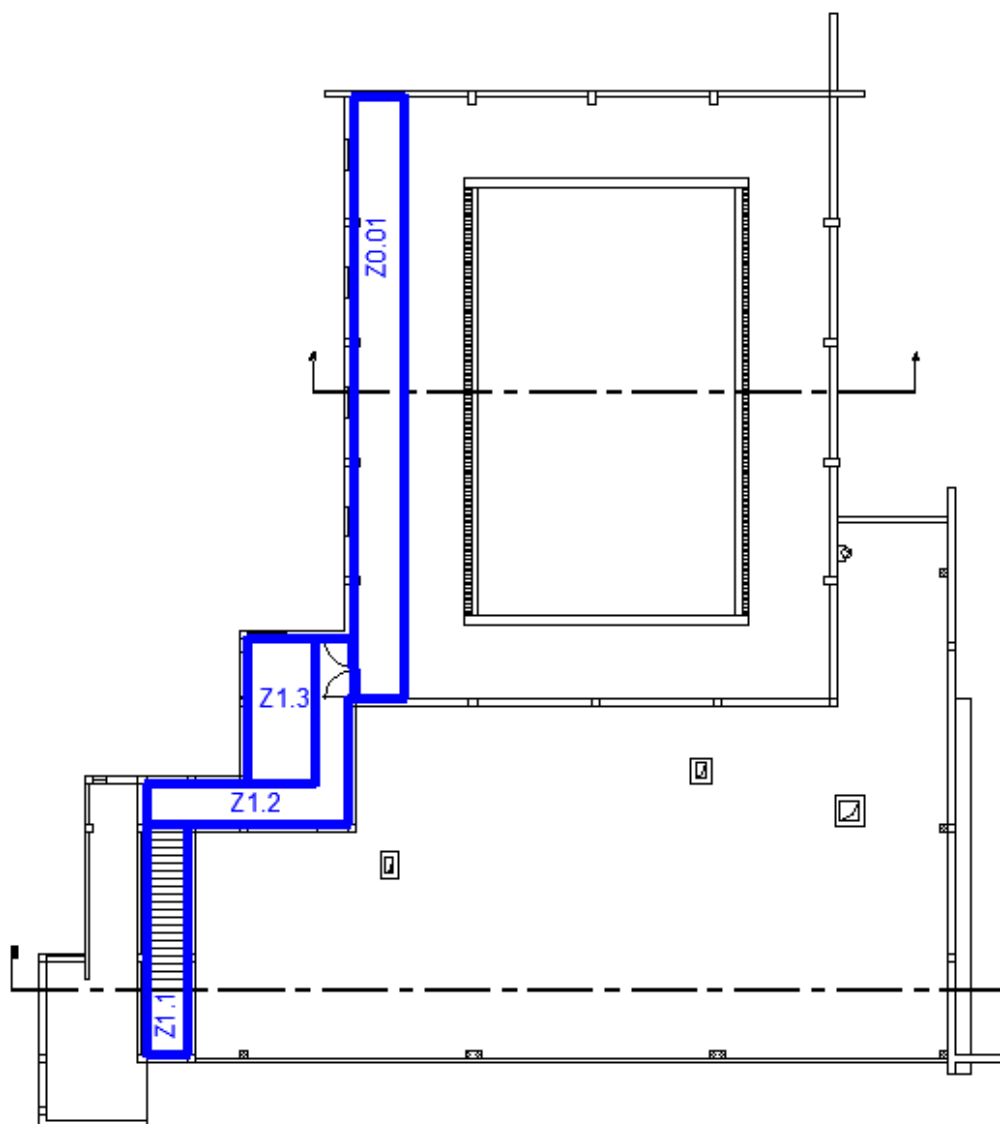
- [20] “Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013,” no. 55, pp. 55–57, 2013.
- [21] D. B. Riccardo Comini, Florence Clement, Francisco Puente, Alessandro Orlandi, Isabel Oliveira, Pedro Lima, “A utilização racional de energia em edifícios públicos,” *EnerBuilding.eu*, 2008.
- [22] Philips, “Soluções LED de iluminação profissional.” 2014.
- [23] *Guia para Instaladores de Colectores Solares*, DGGE. 2004.
- [24] SOTECNISOL Materiais, “TABELA DE PREÇOS DE VENDA - COLECTORES.” pp. 1–15, 2015.
- [25] L. G. Sea, J. N. Sea, and C. T. Sea, “State of the art of Energy Performance Certification in EU sport buildings,” 2015.

9. Anexos

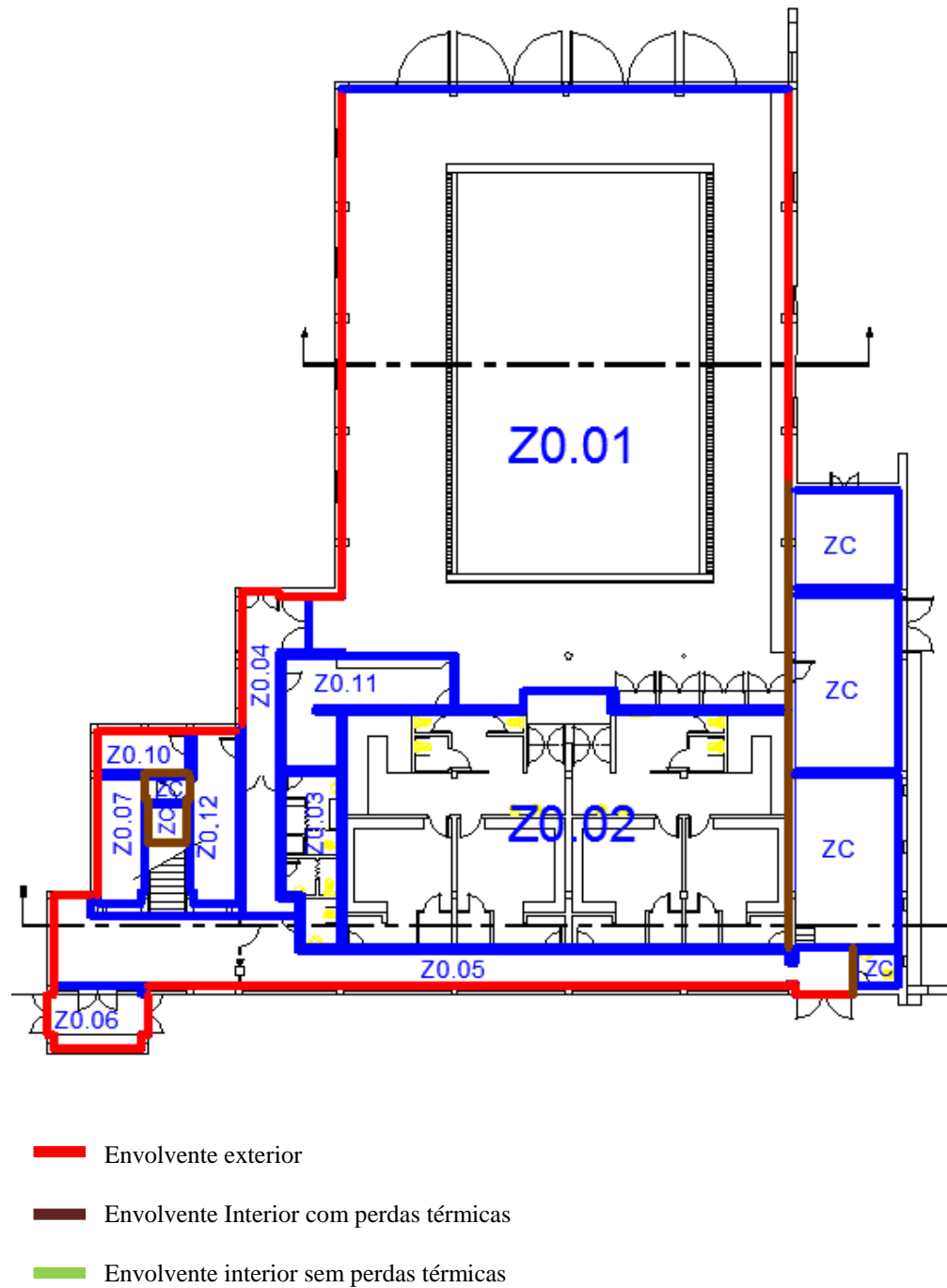
9.1 Anexo I - Zonamento do edifício (Piso 0) – Alcochete



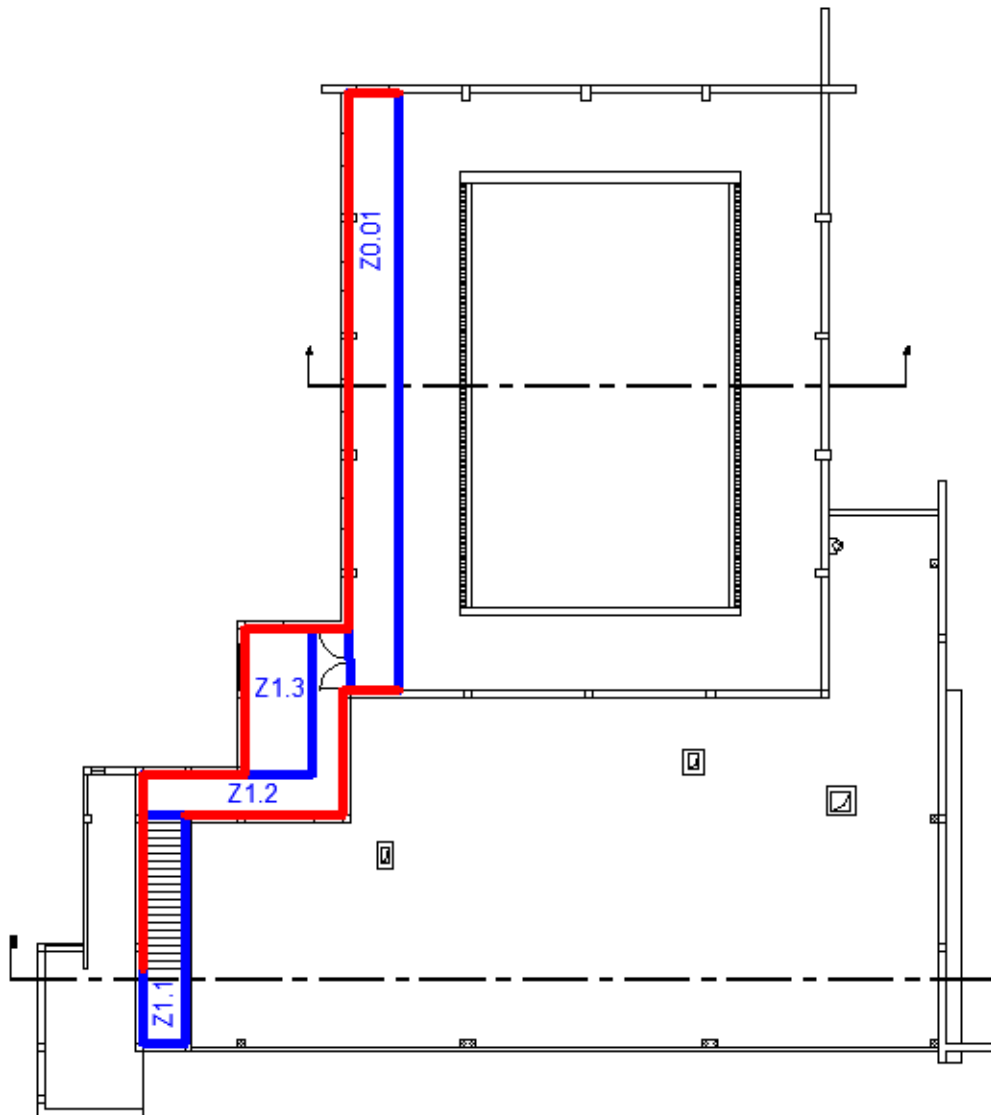
9.2 Anexo II - Zonamento do edifício (Piso 1) – Alcochete



9.3 Anexo III - Paredes exteriores e interiores (Piso 0) – Alcochete

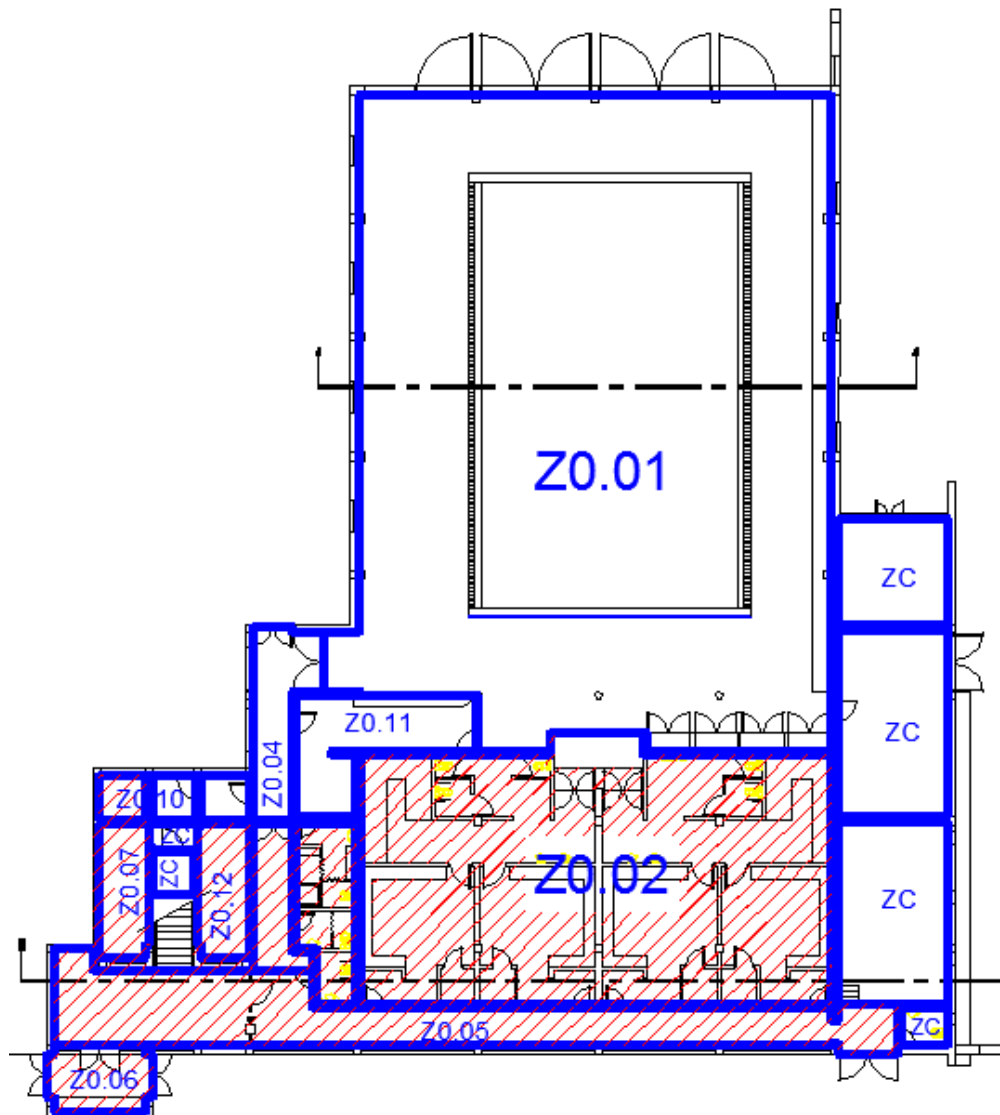





9.4 Anexo IV - Paredes exteriores e interiores (Piso 1) – Alcochete



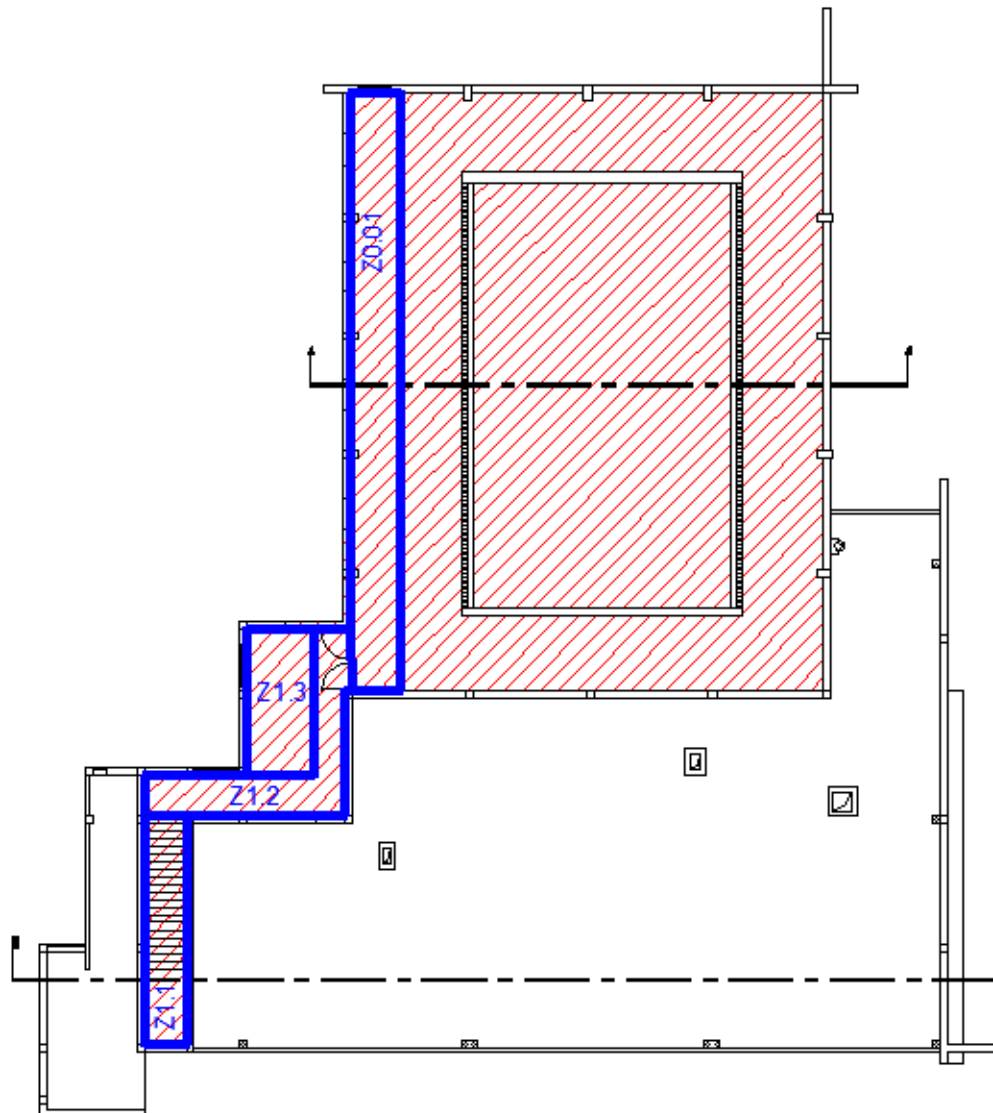
- Envolvente exterior
- Envolvente interior com perdas térmicas
- Envolvente interior sem perdas térmicas




9.5 Anexo V - Coberturas exteriores e interiores (Piso 0) – Alcochete



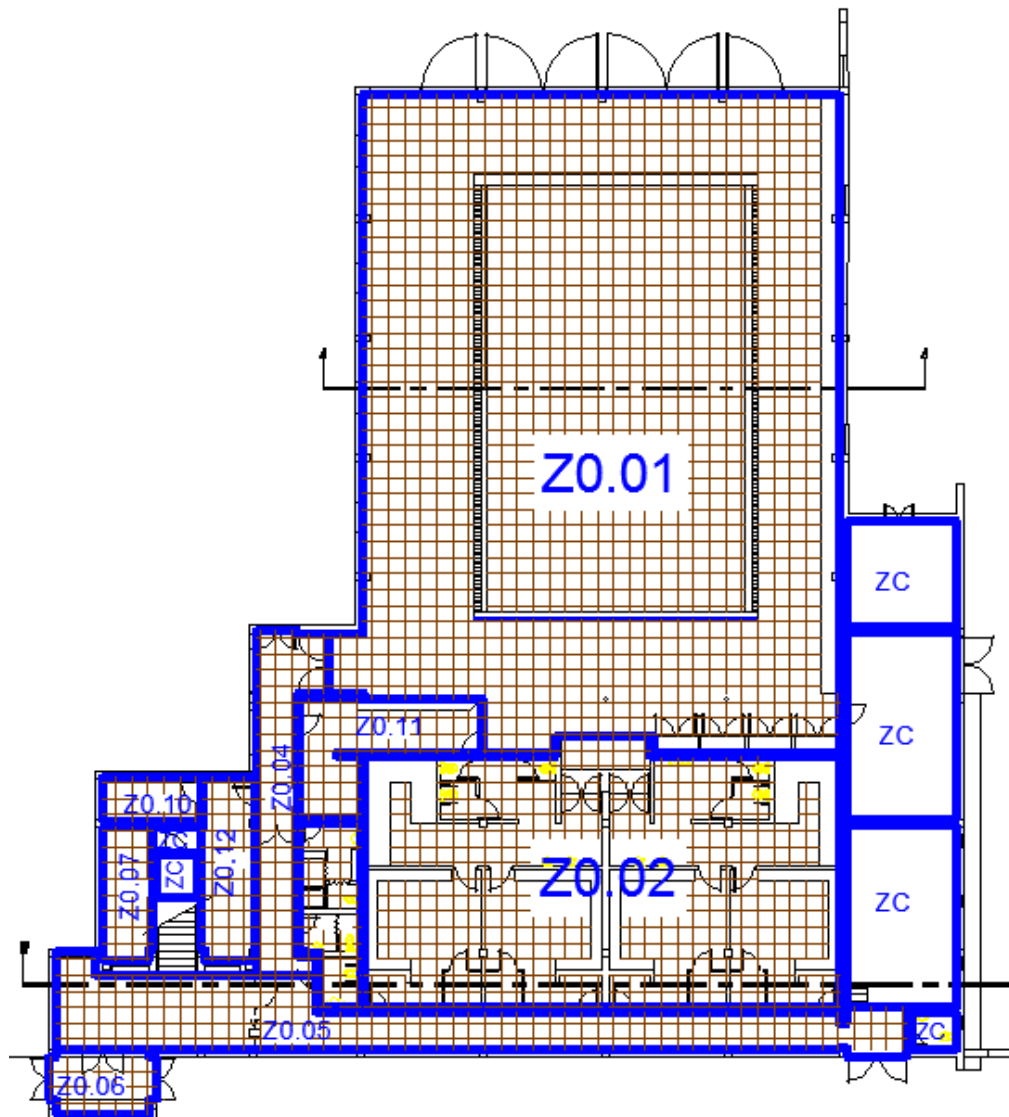
-  Cobertura exterior
-  Cobertura interior com perdas térmicas
-  Cobertura interior sem perdas térmicas




9.6 Anexo VI - Coberturas exteriores e interiores (Piso 1) – Alcochete



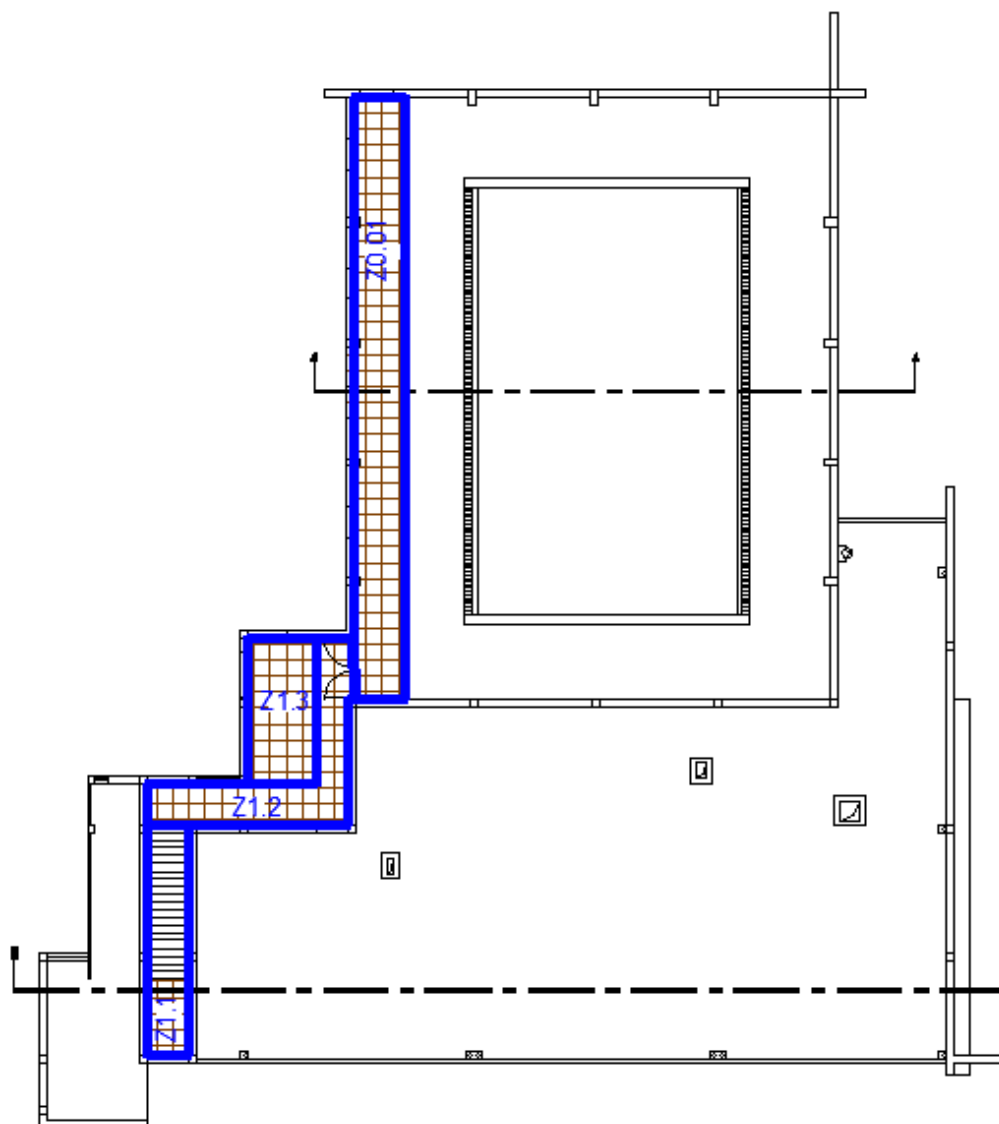
-  Cobertura exterior
-  Cobertura interior com perdas térmicas
-  Cobertura interior sem perdas térmicas




9.7 Anexo VII - Pavimentos exteriores e em contacto com o solo (Piso 0) – Alcochete



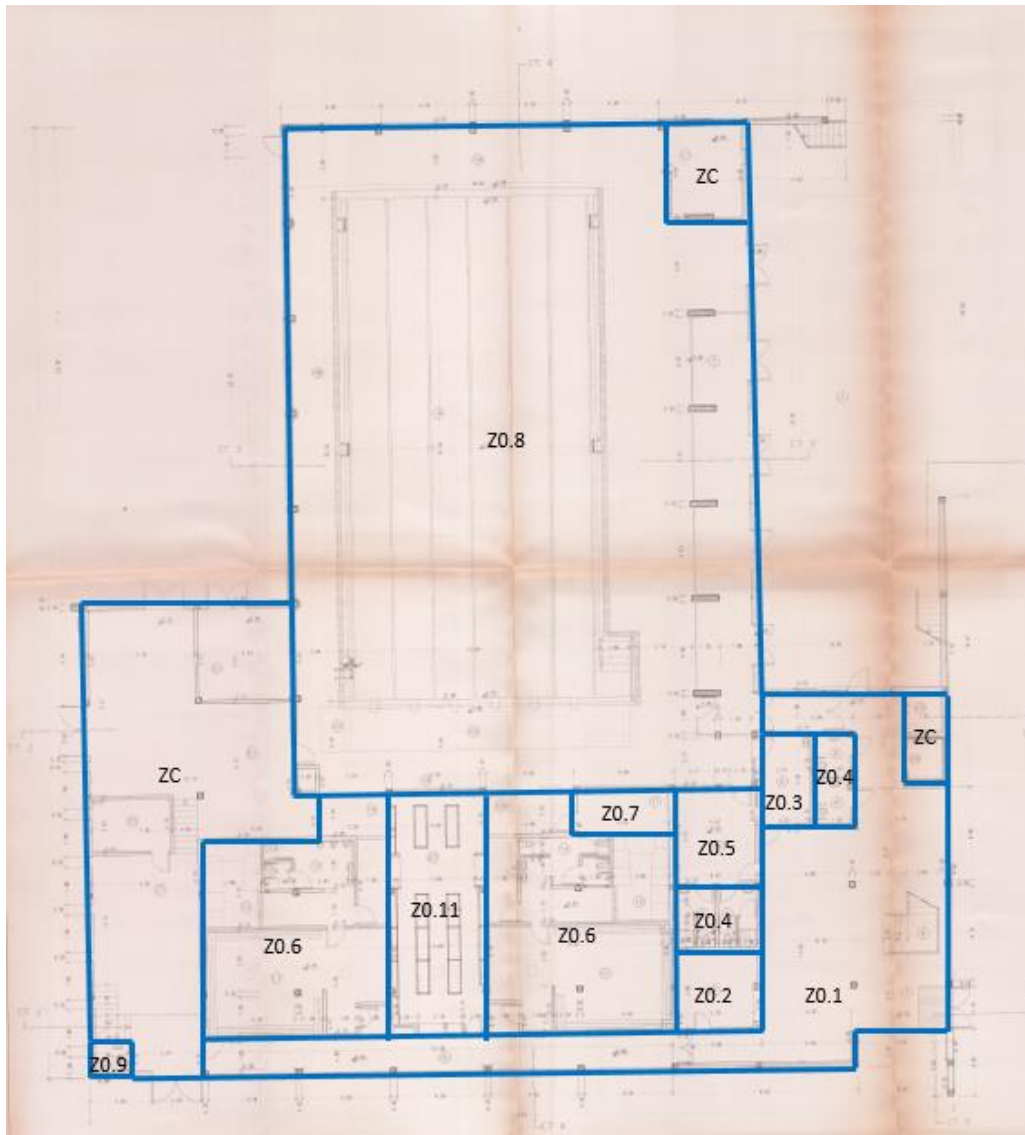
-  Pavimento exterior
-  Pavimento interior com perdas térmicas
-  Pavimento interior sem perdas térmicas

9.8 Anexo VIII - Pavimentos exteriores e em contacto com o solo (Piso 1) – Alcochete

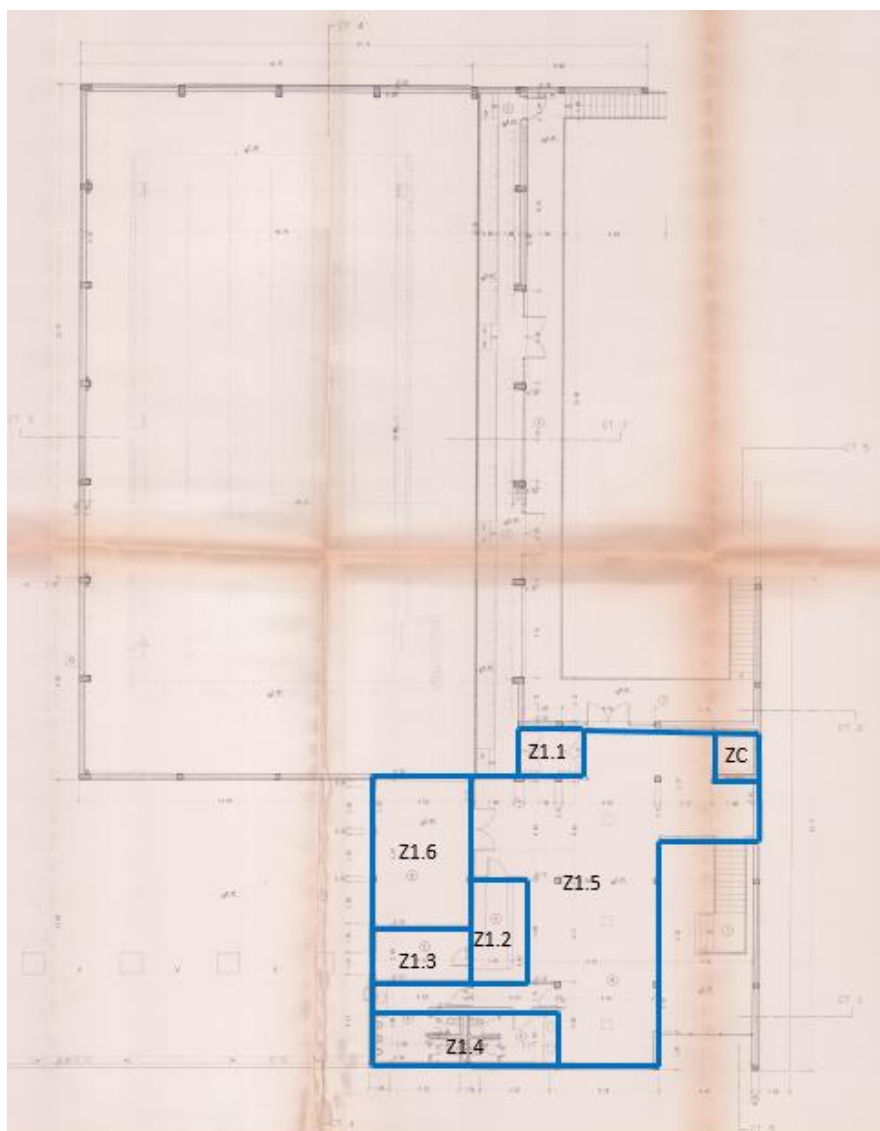


-  Pavimento exterior
-  Pavimento interior com perdas térmicas
-  Pavimento interior sem perdas térmicas

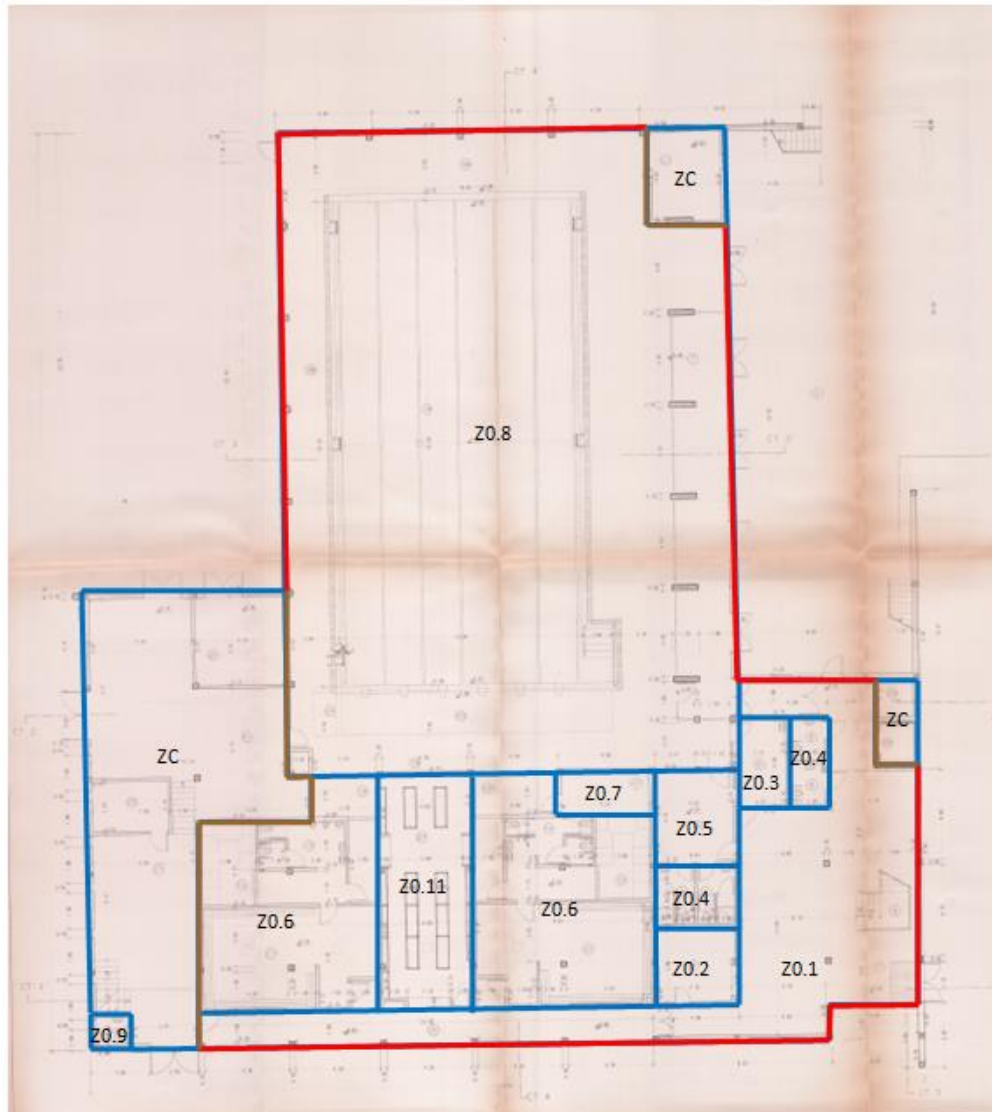
9.9 Anexo IX - Zonamento do edifício (Piso 0) – Alhos Vedros



9.10 Anexo X - Zonamento do edifício (Piso 1) – Alhos Vedros

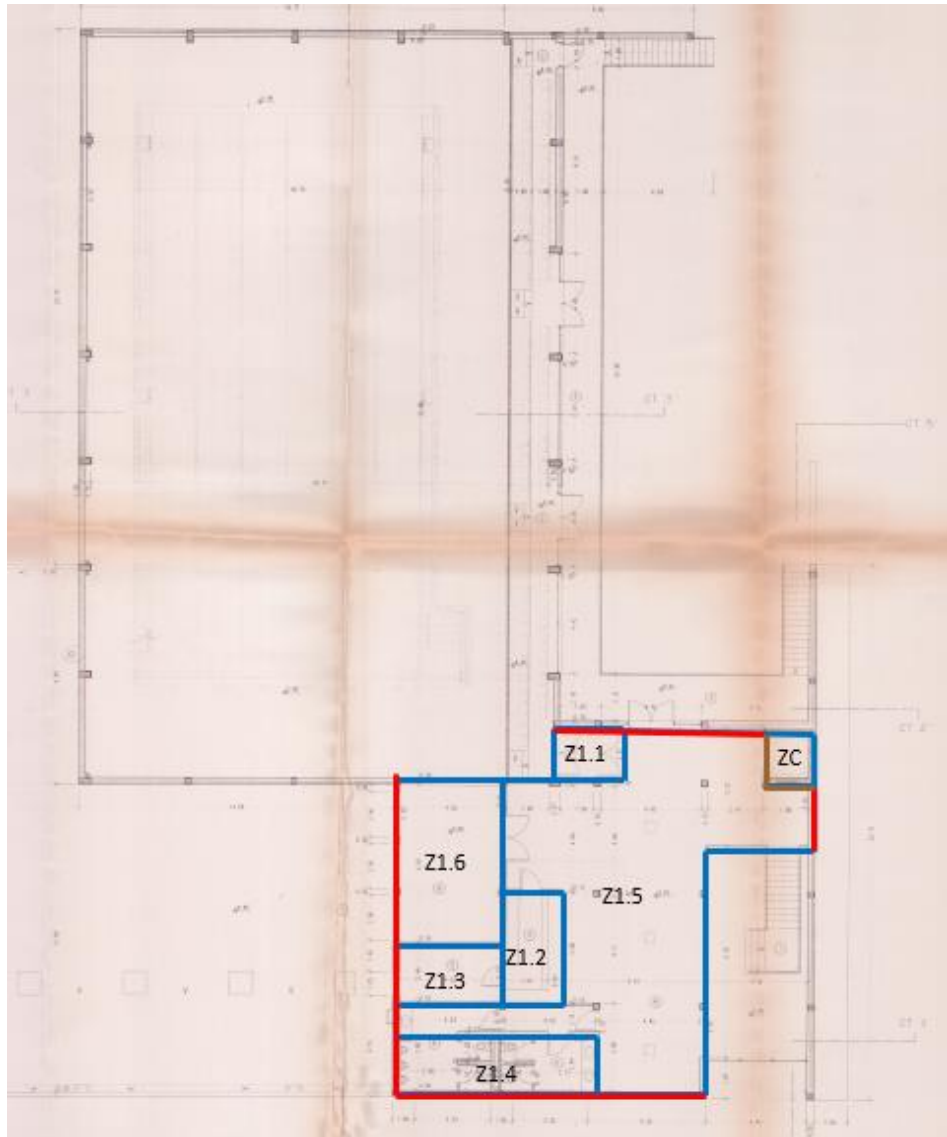


9.11 Anexo XI - Paredes exteriores e interiores (Piso 0) – Alhos Vedros



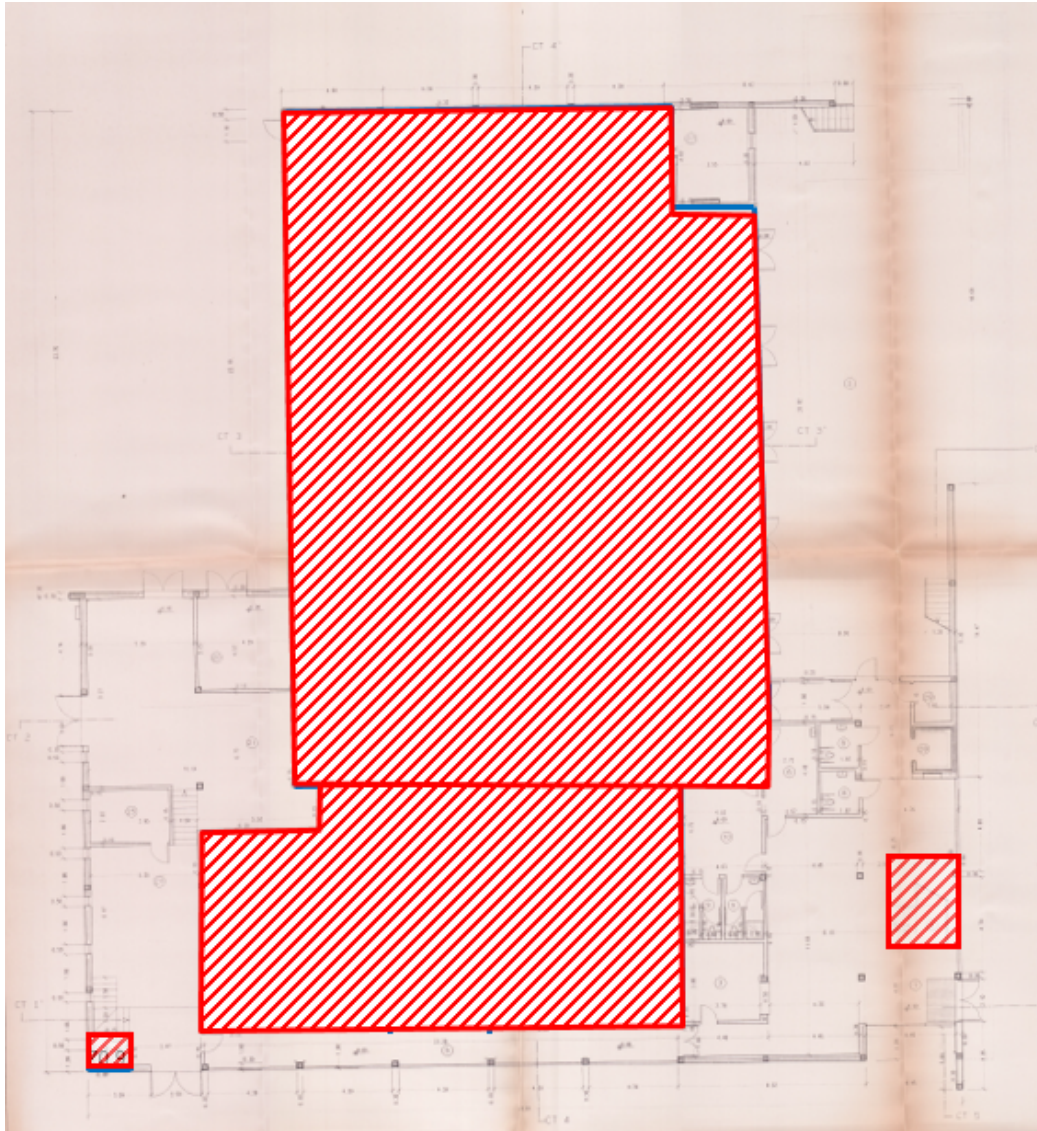
- Envolvente exterior
- Envolvente Interior com perdas térmicas
- Envolvente interior sem perdas térmicas




9.12 Anexo XII - Paredes exteriores e interiores (Piso 1) – Alhos Vedros



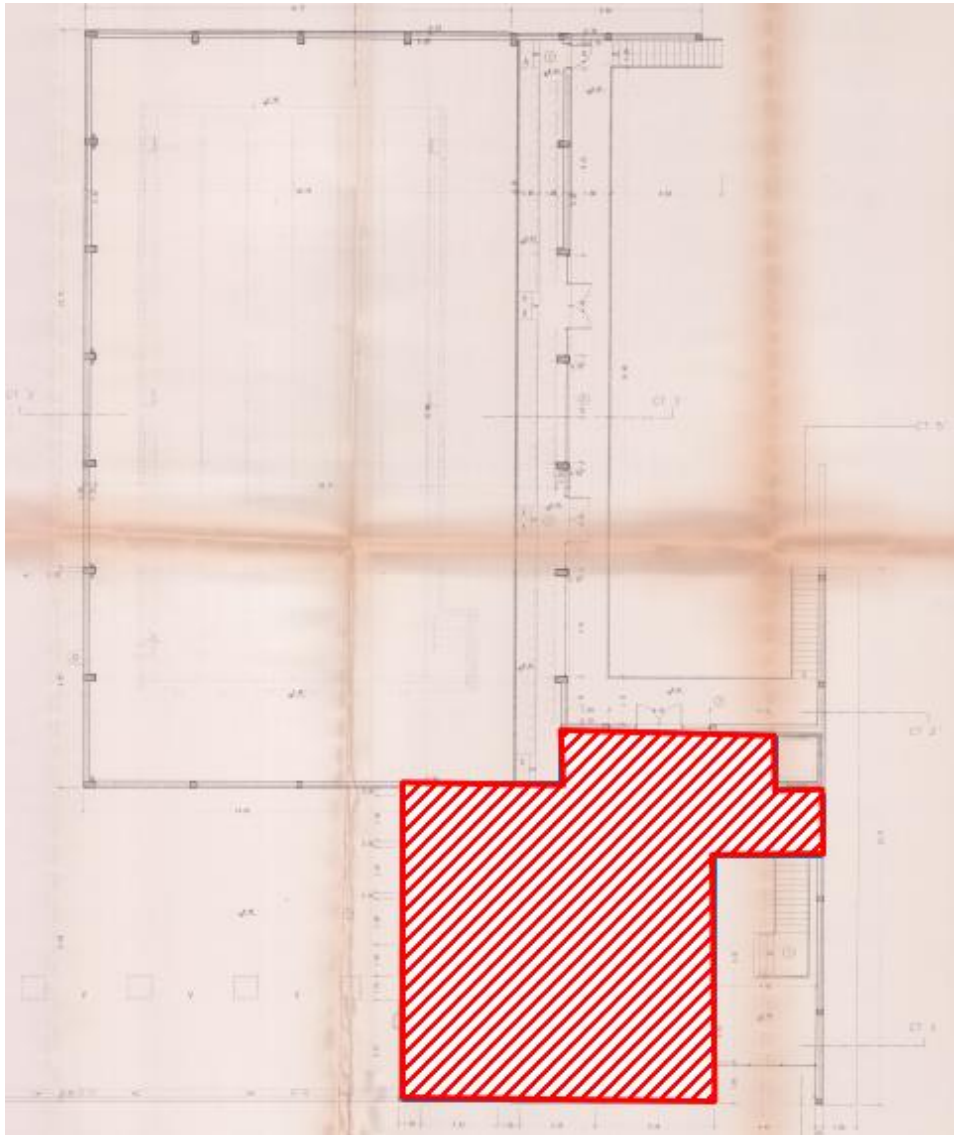
- Envolvente exterior
- Envolvente Interior com perdas térmicas
- Envolvente interior sem perdas térmicas




9.13 Anexo XIII - Coberturas exteriores e interiores (Piso 0) – Alhos Vedros



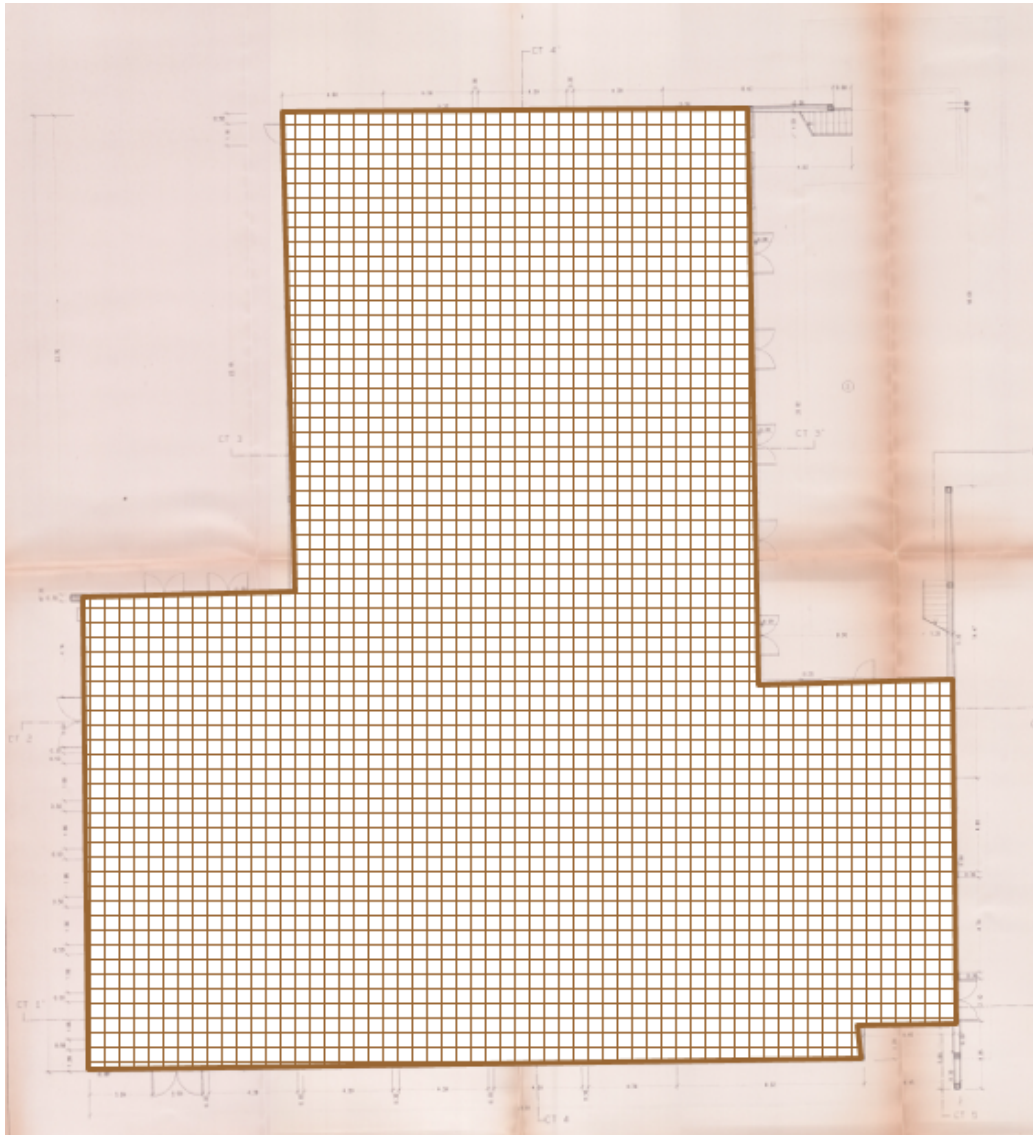
-  Cobertura exterior
-  Cobertura interior com perdas térmicas
-  Cobertura interior sem perdas térmicas




9.14 Anexo XIV - Coberturas exteriores e interiores (Piso 1) – Alhos Vedros



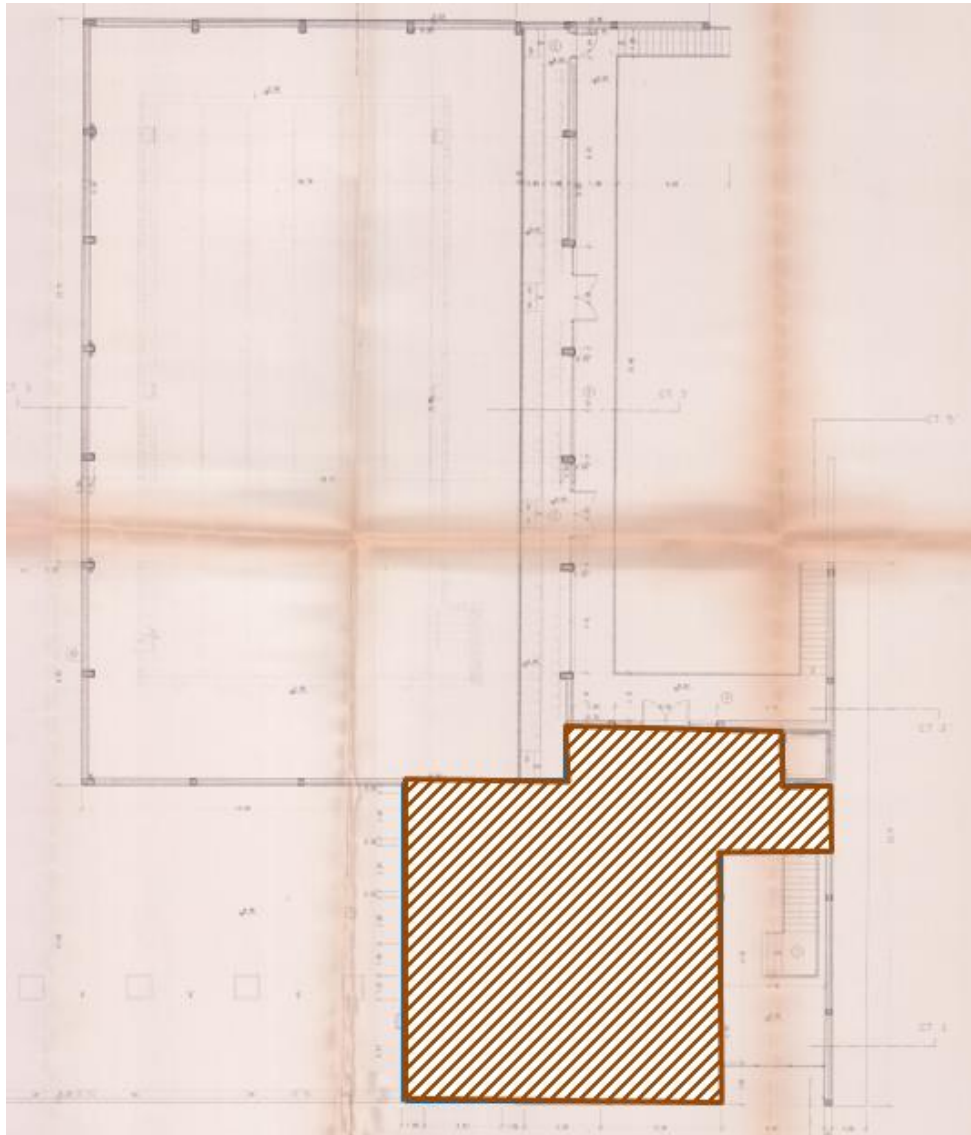
-  Cobertura exterior
-  Cobertura interior com perdas térmicas
-  Cobertura interior sem perdas térmicas




9.15 Anexo XV - Pavimentos exteriores e em contacto com o solo (Piso 0) – Alhos Vedros



-  Pavimento exterior
-  Pavimento interior com perdas térmicas
-  Pavimento interior sem perdas térmicas

9.16 Anexo XVI - Pavimentos exteriores e em contacto com o solo (Piso 1) – Alhos Vedros



-  Pavimento exterior
-  Pavimento interior com perdas térmicas
-  Pavimento interior sem perdas térmicas

9.17 Anexo XVII - Principais parâmetros energéticos contabilizados para caracterização do modelo de simulação para determinação do IEE_{pr}

Piscina Municipal de Alcochete:

Zona	Caudal de ar novo [L/s]	Efic. vent. %	Ilum. [W/m ²]	Equip. [W/m ²]	Ocup. [m ² /ocup.]	Eficiência do sistema de climatização		Pot. Vent. [kW]
						Arr.	Aq.	
Z0.01 – Nave e Galeria	1875,0	100	9,4	-	13	2,7	2,8	-
Z0.02 – Balneários	500,0	100	9,7	25,2	5	2,7	2,8	-
Z0.03 – I.S.	0,0	-	14,5	54,1	-	2,7	2,8	-
Z0.04 – Zona de circulação	0,0	-	9,4	0,0	-	-	0,8	0,55
Z0.05 – Receção e corredor	19,8	100	13,6	95,3	-	2,7	2,8	-
Z0.06 – Zona de circulação	0,0	-	12,6	-	-	2,7	2,8	-
Z0.07 – Refeitório	33,3	100	13,3	360,5	3	2,7	2,8	-
Z0.10 – Gabinete	13,3	100	20,5	85,0	4	2,7	2,8	-
Z0.11 – Zona de circulação	0,0	-	8,5	9,5	-	2,7	2,8	-
Z0.12 – Gabinete	20,0	100	12,5	138,2	5	2,7	2,8	-
ZC – Zonas técnicas	70,2	100	8,9	2,4	-	3,1	4,7	6
Z1.1 – Escadas	10,1	100	4,6	-	-	2,7	2,8	-
Z1.2 – Zona de circulação	0,0	-	-	-	-	2,7	2,8	-
Z1.3 – Gabinete	6,7	100	12,1	146,2	15	2,7	2,8	-

Piscina Municipal de Alhos Vedros:

Zona	Caudal de ar novo [L/s]	Efic. vent. %	Ilum. [W/m ²]	Equip. [W/m ²]	Ocup. [m ² /ocup.]	Eficiência do sistema de climatização		Pot. Vent. [kW]
						Arr.	Aq.	
Z0.1 – Zona de circulação	-	-	11,0	19,2	-	2,7	2,8	-
Z0.2 – Receção	13,3	100,0	24,7	204,7	8	2,7	2,8	-
Z0.3 – Posto médico	41,7	100,0	15,6	-	-	2,7	2,8	-
Z0.4 – I.S.	-	-	12,6	88,4	-	2,7	2,8	-
Z0.5 – Gabinete	83,3	100,0	18,8	12,5	7	2,5	0,0	0,55
Z0.6 – Balneários	500,0	100,0	9,7	34,3	4	0	0,9	0,55
Z0.7 – Armazéns	21,5	100,0	3,5	-	-	2,7	2,8	-
Z0.8 – Nave	3888,9	100,0	7,4	-	15	3,2	0,0	2,2
Z0.9 – I.S.	-	-	15,9	-	-	2,7	2,8	-
Z0.11 – Armazéns	83,3	100,0	6,6	-	-	2,64	3,0	-
Z1.1 – Zona de circulação	-	-	8,6	-	-	2,7	2,8	-
Z1.2 – Armazéns	10,7	100,0	54,2	318,9	3	2,7	2,8	-
Z1.3 – Refeitório	26,7	100,0	12,4	-	3	2,7	2,8	-
Z1.4 – I.S.	-	-	17,3	135,5	-	2,7	2,8	-
Z1.5 – Zona de circulação	5,2	100,0	5,8	-	-	2,7	2,8	-
Z1.6 – Gabinete	26,3	100,0	14,3	33,1	16	2,7	2,8	-
ZC – Zonas técnicas	146,4	100,0	11,8	1,2	-	2,7	2,8	-

9.18 Anexo XVIII - Principais parâmetros energéticos contabilizados para caracterização do modelo de simulação para determinação do IEE_{ref}

Piscina Municipal de Alcochete:

Zona	Caudal de ar novo [L/s]	Efic. vent. %	Ilum. [W/m ²]	Equip. [W/m ²]	Ocup. [m ² /ocup.]	Eficiência do sistema de climatização		Pot. Vent. [kW]
						Arr.	Aq.	
Z0.01 – Nave e Galeria	1361,1	80,0	12,0	0,0	13	2,70	2,80	-
Z0.02 – Balneários	222,2	80,00	9,0	25,2	5	2,70	2,80	-
Z0.03 – IS	-	-	4,5	54,1	-	2,70	2,80	-
Z0.04 – Zona de circulação	-	-	4,5	0,0	-	2,70	2,80	1,9
Z0.05 – Receção e corredor	24,7	80,00	6,1	95,3	-	2,70	2,80	-
Z0.06 – Zona de circulação	-	-	4,5	-	-	2,70	2,80	-
Z0.07 – Refeitório	41,7	80,00	9,0	360,5	3	2,70	2,80	-
Z0.10 – Gabinete	16,7	80,00	14,0	85,0	4	2,70	2,80	-
Z0.11 – Zona de circulação	-	-	4,5	9,5	-	2,70	2,80	-
Z0.12 – Gabinete	25,0	80,00	14,0	138,2	5	2,70	2,80	-
ZC – Zonas técnicas	87,8	80,00	4,3	2,4	-	2,70	2,80	3,8
Z1.1 – Escadas	12,7	80,00	6,8	-	-	2,70	2,80	-
Z1.2 – Zona de circulação	-	-	4,5	-	-	2,70	2,80	-
Z1.3 – Gabinete	8,3	80,00	14,0	146,2	15	2,70	2,80	-

Piscina Municipal de Alhos Vedros:

Zona	Caudal de ar novo [L/s]	Efic. vent. %	Ilum. [W/m ²]	Equip. [W/m ²]	Ocup. [m ² /ocup.]	Eficiência do sistema de climatização		Pot. Vent. [kW]
						Arr.	Aq.	
Z0.1 – Zona de circulação	0,0	-	4,5	19,2	-	2,7	2,8	-
Z0.2 – Receção	16,7	80,00	8,4	204,7	8	2,7	2,8	-
Z0.3 – Posto médico	12,0	80,00	22,5	0,0	-	2,7	2,8	-
Z0.4 – IS	0,0	-	4,5	88,4	-	2,7	2,8	-
Z0.5 – Gabinete	25,0	80,00	14,0	12,5	7	2,7	2,8	1,7
Z0.6 – Balneários	266,7	80,00	8,6	34,3	4	-	0,9	1,7
Z0.7 – Armazéns	26,9	80,00	4,0	0,0	-	2,7	2,8	-
Z0.8 – Nave	1633,3	80,00	12,0	0,0	15	2,7	2,8	5,2
Z0.9 – IS	0,0	-	4,5	0,0	-	2,7	2,8	-
Z0.11 – Armazéns	56,4	80,00	4,0	0,0	-	2,7	2,8	-
Z1.1 – Zona de circulação	0,0	-	4,5	0,0	-	2,7	2,8	-
Z1.2 – Armazéns	13,4	80,00	4,0	318,9	3	2,7	2,8	-
Z1.3 – Refeitório	33,3	80,00	9,0	0,0	3	2,7	2,8	-
Z1.4 – IS	0,0	-	4,5	135,5	-	2,7	2,8	-
Z1.5 – Zona de circulação	6,5	80,00	4,5	0,0	-	2,7	2,8	-
Z1.6 – Gabinete	32,9	80,00	14,0	33,1	16	2,7	2,8	-
ZC – Zonas técnicas	183,1	80,00	18,2	1,2	-	2,7	2,8	-